

COMISIÓN NACIONAL
DEL AGUA

SUBDIRECCIÓN GENERAL TÉCNICA

DATOS BÁSICOS

1994

GERENCIA DE INGENIERÍA BÁSICA Y NORMAS TÉCNICAS

INTRODUCCION

Se puede advertir de la más reciente literatura internacional, que la tendencia en los proyectos de sistemas de abastecimiento de agua potable, alcantarillado y saneamiento, es la de dar una mayor importancia a la determinación de los datos básicos de proyecto, especialmente a la población futura, a la predicción de la demanda de agua potable y a la aportación de aguas residuales. Esto se debe a que la disponibilidad de fuentes de abastecimiento accesibles y baratas, es cada día más escasa, haciendo que la determinación correcta del consumo de agua a futuro sea crítica y de preocupación primordial en todo proyecto.

El tema que se desarrolla a continuación consta de tres partes: CONCEPTOS TEORICOS, GUIAS DE APLICACION Y PROGRAMAS DE COMPUTO. En la primera, se explican los principales conceptos teóricos actuales sobre los datos necesarios para elaborar un proyecto de agua potable y alcantarillado; en la segunda se ponen en conocimiento del lector, los procedimientos y ayudas para resolver los problemas correspondientes y en la tercera se integra una herramienta de cálculo, para la obtención de dichos datos básicos de proyecto.

Al final del documento se ofrece una lista de referencias bibliográficas con el propósito de apoyar el texto, y de que el lector interesado tenga la oportunidad de consultar la fuente original.

1. GENERALES

1.1 Población de proyecto

La población de proyecto es la cantidad de personas que se espera tener en una localidad al final del período de diseño del sistema de agua potable y alcantarillado.

Esta población futura se estima para cada grupo demográfico, a partir de datos censales históricos, las tasas de crecimiento, los planes de desarrollo urbano, su característica migratoria y las perspectivas de su desarrollo económico.

Existen varios métodos de predicción de la población de proyecto, recomendándose los siguientes:

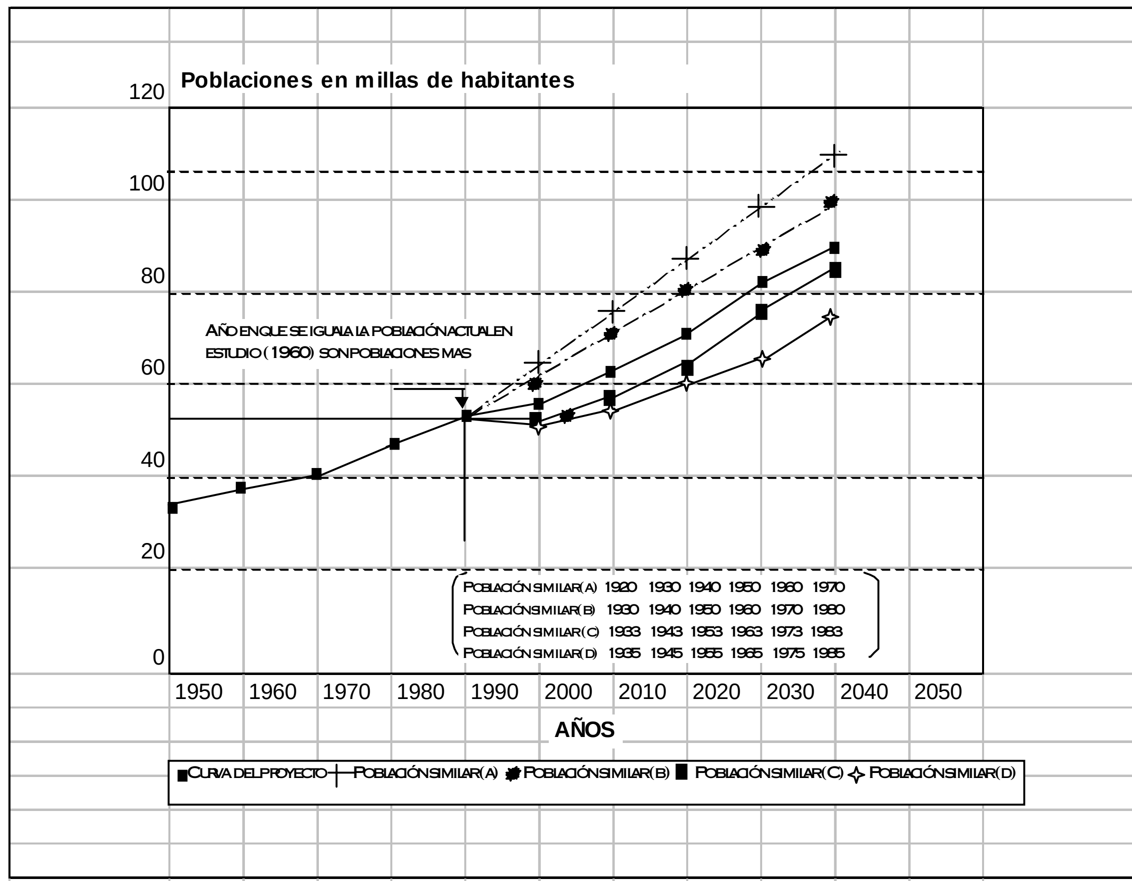
- Método de crecimiento por comparación.
- Método de ajuste por Mínimos Cuadrados.

1.1.1 Método de crecimiento por comparación.

Este método consiste en comparar, la tendencia del crecimiento histórico de la población estudiada contra el de otras ciudades con mayor número de habitantes, similares desde el punto de vista socioeconómico, y adoptar la tasa media de crecimiento de ellas. En la lámina 1, se presenta en forma gráfica el método de crecimiento por comparación.

En la lámina 1, se presenta en forma gráfica el método de tasas de crecimiento.

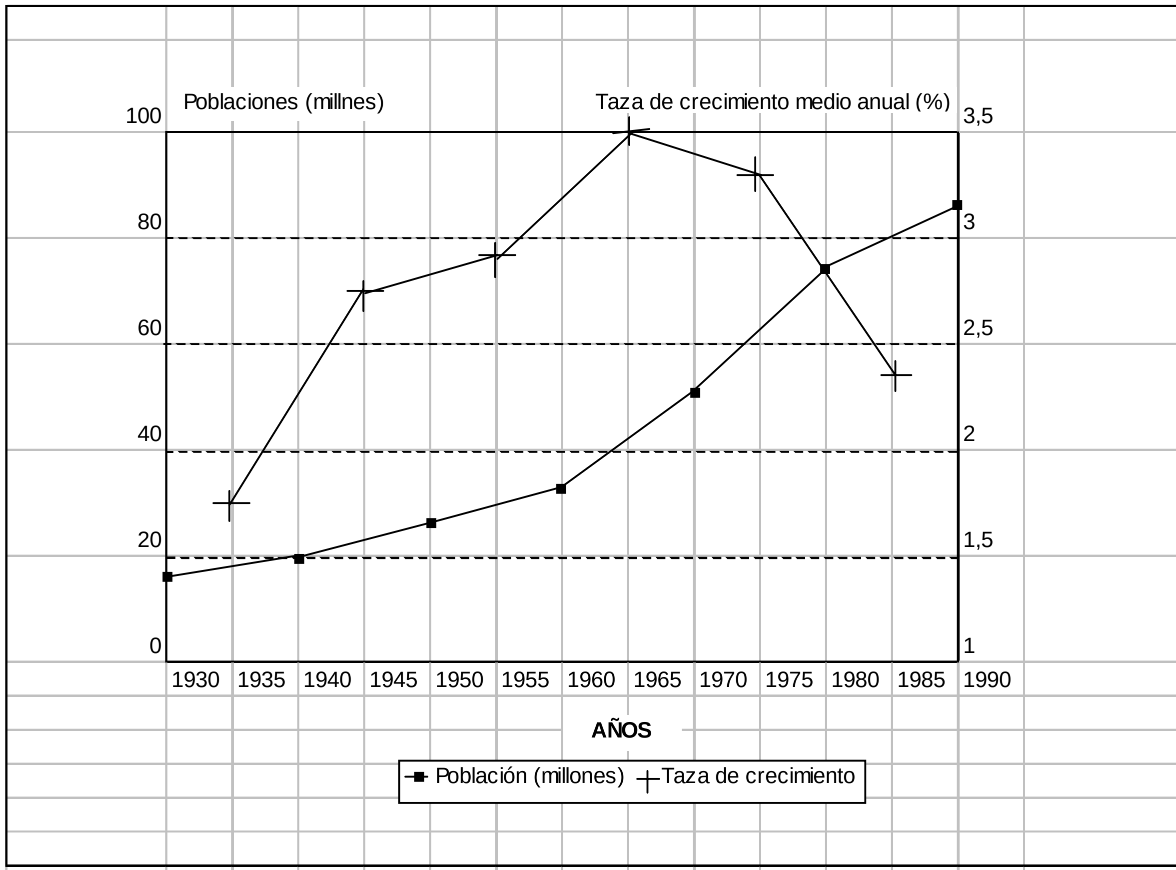
Lámina 1. Predicción de la población por el método de crecimiento por comparación.



Los factores que deben considerarse para determinar la similitud son: proximidad geográfica, actividad económica, porcentajes de población de cada nivel socioeconómico, clima, costumbres, entre otros.

En la lámina 2 se tiene el comportamiento de la tasa de crecimiento de la población del país en un período de tiempo de 60 años; observándose un incremento de ésta de 1950 a 1970 y en los últimos años la tasa de crecimiento presenta un decremento, aunque la población ha ido en aumento.

Lámina 2. Comportamiento de la tasa de crecimiento con el tiempo.



Para determinar la tasa de crecimiento de la población entre dos datos de censos dados o bien para el año "t_{i+1}", se utiliza la ecuación 1.

$$i = \left[\left(\frac{P_{i+1}}{P_i} \right)^{\frac{1}{t}} - 1 \right] 100 \qquad (1)$$

Donde:

i = Tasa de crecimiento en el periodo t_i-t_{i+1}

P_{i+1} = Población en el año t_{i+1}

P_i = Población en el año t_i

t = Número de años entre la población P_{i+1} y la población P_i

1.1.2 Método de mínimos cuadrados

Este procedimiento consiste en calcular la población de proyecto a partir de un ajuste de los resultados de los censos en años anteriores, a una recta o curva, de tal modo que los puntos pertenecientes a éstas, difieran lo menos posible de los datos observados.

Para determinar la población de proyecto, será necesario considerar el modelo matemático que mejor represente el comportamiento de los datos de los censos históricos de población (lineal, exponencial, logarítmica o potencial), obteniendo a las constantes "a" y "b" que se conocen como coeficientes de la regresión (ref. 1).

Existe un parámetro que sirve para determinar que tan acertada fue la elección de la curva o recta de ajuste a los datos de los censos. Este se denomina coeficiente de correlación "r", su rango de variación es de -1 a +1 y conforme su valor absoluto se acerque más a 1 el ajuste del modelo a los datos será mejor.

A continuación se presentan varios modelos de ajuste, donde se definirán las expresiones para el cálculo de los coeficientes "a", "b" y "r".

Ajuste Lineal

En el caso de que los valores de los censos históricos, graficados como población en el eje de las ordenadas y los años en el de las abscisas, se ajusten a una recta, se utiliza la siguiente expresión característica, que da el valor de la población para cualquier año, "t":

$$P = a + bt \qquad (2)$$

Para determinar los valores de “a” y “b” se utilizan las ecuaciones siguientes:

$$a = \frac{\sum P_i - b\sum t_i}{N} \qquad (3)$$

$$b = \frac{N\sum t_i P_i - \sum t_i \sum P_i}{N\sum t_i^2 - \left(\sum t_i\right)^2} \qquad (4)$$

Donde:

N = Número total de datos

$\sum t_i$ = Suma de los años con información

$\sum P_i$ = Suma del número de habitantes

Una vez obtenido el comportamiento histórico de los datos censales mediante el ajuste lineal, se calcula la población para cualquier año futuro, sustituyendo el valor del tiempo,"t" en la ecuación 2.

El coeficiente de correlación "r" para el ajuste lineal se calcula como sigue:

$$r = \frac{N\sum t_i P_i - \sum t_i \sum P_i}{\sqrt{\left[N\sum t_i^2 - \left(\sum t_i\right)^2\right]\left[N\sum P_i^2 - \left(\sum P_i\right)^2\right]}} \qquad (5)$$

Ajuste No-Lineal

Cuando los datos de los censos históricos de población, se conformen más bien a una curva, en lugar de una recta, se pueden ajustar estos datos a una curva exponencial, una logarítmica o una potencial, las cuales se tratan a continuación.

a) Ajuste Exponencial

La expresión general está dada por:

$$P = ae^{bt} \qquad (6)$$

Donde a y b son las constantes que se obtienen mediante las ecuaciones:

$$a = e^{\left[\frac{\sum \ln P_i - b\sum t_i}{N}\right]} \qquad (7)$$

$$b = \frac{N\sum t_i \ln P_i - \sum t_i \sum \ln P_i}{N\sum t_i^2 - \left(\sum t_i\right)^2} \qquad (8)$$

Donde:

ln = Logaritmo natural

Los valores de las sumatorias se obtienen de manera similar a las del ajuste lineal. Y sustituyendo el valor "t" deseado se predice la población futura.

Una vez obtenido el comportamiento histórico de los datos censales mediante el ajuste exponencial, se calcula la población para cualquier año futuro, sustituyendo el valor del tiempo "t" en la ecuación 6.

El coeficiente de correlación para este modelo se calcula con:

$$= \frac{N\sum t_i(\ln P_i) - \sum t_i \sum \ln P_i}{\sqrt{\left[N\sum t_i^2 - \left(\sum t_i\right)^2\right]\left[N\sum (\ln P_i)^2 - \left(\sum \ln P_i\right)\right]}} \qquad (9)$$

b) Ajuste Logarítmico

Este modelo tiene la expresión general:

$$P = a + b(\ln t) \qquad (10)$$

Y la solución de los coeficientes “a” y “b” se obtienen con:

$$a = \frac{\sum P_i - b\sum \ln t_i}{N} \qquad (11)$$

$$b = \frac{N\sum \ln t_i P_i - \sum \ln t_i \sum P_i}{N\sum (\ln t_i)^2 - \left(\sum \ln t_i\right)^2} \qquad (12)$$

Una vez obtenido el comportamiento histórico de los datos censales mediante el ajuste logarítmico, se calcula la población para cualquier año futuro, sustituyendo el valor del tiempo "t" en la ecuación 10.

El coeficiente de correlación esta dado por:

$$r = \frac{N\sum (\ln t_i)P_i - \sum \ln t_i \sum P_i}{\sqrt{\left[N\sum (\ln t_i)^2 - \left(\sum \ln t_i\right)^2\right]\left[N\sum P_i^2 - \left(\sum P_i\right)^2\right]}} \qquad (13)$$

c) Ajuste Potencial

La expresión general está dada por:

$$P = at^{b} \qquad (14)$$

la solución de los coeficientes "a" y "b" se obtiene como sigue:

$$a = e^{\left[\frac{\sum \ln P_i - b\sum \ln t_i}{N}\right]} \qquad (15)$$

$$b = \frac{N\sum(\ln t_i)(\ln P_i) - \sum \ln t_i \sum \ln P_i}{N\sum(\ln t_i)^2 - \left(\sum \ln t_i\right)^2} \qquad (16)$$

Una vez obtenido el comportamiento histórico de los datos censales mediante el ajuste potencial, se calcula la población para cualquier año futuro, sustituyendo el valor del tiempo "t" en la ecuación 14.

El coeficiente de correlación está dado por:

$$r = \frac{N\sum(\ln t_i)(\ln P_i) - \sum \ln t_i \sum \ln P_i}{\sqrt{\left[N\sum(\ln t_i)^2 - \left(\sum \ln t_i\right)^2\right]\left[N\sum(\ln P_i)^2 - \left(\sum \ln P_i\right)^2\right]}} \qquad (17)$$

La tasa de crecimiento de la población, obtenida con cualquiera de las ecuaciones de ajuste para el año "t_{i+1}" se calcula con la ecuación 1.

Al obtener la tasa de crecimiento se puede comparar con la tasa de crecimiento histórica de la misma población o con el de otras ciudades cercanas y determinar cuál de las correlaciones es la que más se ajusta al crecimiento de la población.

1.2 Período de diseño

Es el intervalo de tiempo durante el cual se estima que la obra por construir llega a su nivel de saturación; este período debe ser menor que la vida útil.

Los períodos de diseño están vinculados con los aspectos económicos, que están en función del costo del dinero, esto es, de las tasas de interés real, entendiéndose por tasa de interés real el costo del dinero en el mercado menos la inflación. Mientras más alta es la tasa de interés es más conveniente diferir las inversiones, lo que implica reducir los

períodos de diseño. Cabe señalar que no se deben desatender los aspectos financieros, estos es, los flujos de efectivo del Organismo Operador que habrá de pagar por las obras y que la selección del período de diseño habrá de atender tanto al monto de las inversiones en valor presente como a los flujo de efectivo.

Considerando lo anterior, se recomienda que el período de diseño sea de cinco años, con excepción de aquellas obras en que no se puedan concebir proyectos modulares (obras que no pueden ampliarse fácilmente).

Siempre que sea factible se deberán concebir proyectos modulares, que permitan diferir las inversiones un mayor tiempo posible.

1.2.1 Vida útil

Es el tiempo que se espera que la obra sirva a los propósitos de diseño, sin tener gastos de operación y mantenimiento elevados, que hagan antieconómico su uso o que requiera ser eliminada por insuficiente.

Este período está determinado por la duración misma de los materiales de los que estén hechos los componentes, por lo que es de esperar que este lapso sea mayor que el período de diseño. Otros factores que determinan la vida útil de las obras de agua potable y alcantarillado son la calidad del agua a manejar y la operación y mantenimiento del sistema.

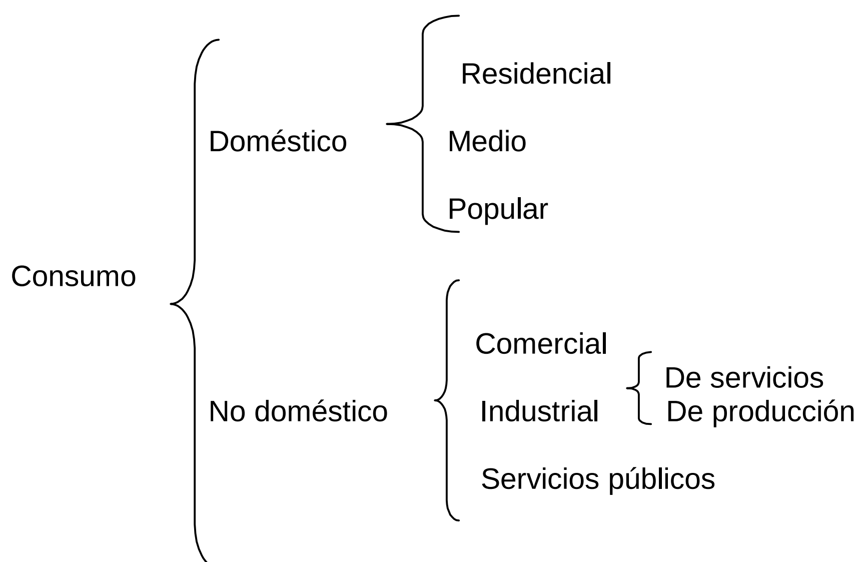
Se deben tomar en cuenta todos los factores, características y posibles riesgos de cada proyecto en particular, para establecer adecuadamente el período de vida útil de cada una de las partes del sistema de agua potable, alcantarillado y saneamiento.

2 PROYECTOS DE AGUA POTABLE

2.1 Consumo

El consumo es la parte del suministro de agua potable que generalmente utilizan los usuarios, sin considerar las pérdidas en el sistema. Se expresa en unidades de m^3/día o l/día, o bien cuando se trata de consumo per cápita se utiliza l/hab/día.

El consumo de agua se determina de acuerdo con el tipo de usuarios, se divide según su uso en: doméstico y no-doméstico; el consumo doméstico, se subdivide según la clase socioeconómica de la población en residencial, medio y popular (tabla 1). El consumo no doméstico incluye el comercial, el industrial y de servicios públicos; a su vez, el consumo industrial se clasifica en industrial de servicio e industrial de producción (fábricas), esta clasificación se resume en el siguiente diagrama:



2. 1.1 Consumo doméstico

Se refiere al agua usada en las viviendas. Este consumo depende principalmente del clima y la clase socioeconómica de los usuarios. El consumo domésticos medio de una clase socioeconómica puede presentar diferencias, por diversas causas, entre las que sobresalen: La presión en la red, la intermitencia en el servicio, la suficiencia del abastecimiento de agua, la existencia de alcantarillado sanitario y el precio del agua.

La CNA a través del IMTA, desarrolló un estudio de actualización de dotaciones en el país (ref. 3), del que se obtuvo como resultado una serie de valores de consumo doméstico por clase socioeconómica y clima, que se dan: en la tabla 16 (segunda parte del presente manual), de tal forma que sirva al ingeniero proyectista de guía, en el caso que no cuente con tal información de la localidad en estudio.

Tabla 1. Tipos de usuarios domésticos (ref. 3 y 4).	
CLASE SOCIOECONÓMICA	DESCRIPCIÓN DEL TIPO DE VIVIENDA
Residencial	Casas solas o departamentos de lujo, que cuentan con dos o más baños, jardín de $50m^2$ o más, cisterna, lavadora.
Media	Casas y departamentos, que cuentan con uno o dos baños, jardín de 15 a $35m^2$ y tinaco.
Popular	Vecindades y casas habitadas por una o varias familias, que cuentan con jardín de 2 a 8 m^2, con un baño o compartiéndolo.

2.1.2 Consumo no-doméstico

Consumo comercial

Es el que se utiliza en zonas de comercios y servicios por personas que no habitan en ellas.

De acuerdo al tipo de actividad comercial del consumidor, se ha encontrado que los consumos varían en los rangos mencionados en la tabla 18 de la segunda parte del presente manual.

Consumo industrial

Este consumo lo constituye el agua de uso para empresas, fábricas y hoteles; se determina en función del tipo de industria.

Considerando el tipo de actividad Industrial, el consumo se divide en dos tipos: a) Industrial de servicios y, b) Industrial de producción. En el primero se consideran los hoteles y el consumo personal de los empleados, con consumos que varían de acuerdo con los datos de las tablas 19, 20 y 21 y los segundos, de acuerdo al tipo de industria que se trate (en la tabla 20a se dan algunos valores).

Es común encontrar industrias en las que, el suministro de agua se complementa con fuentes auxiliares, con lo que se logra disminuir el consumo de agua municipal. En estos casos será necesario, determinar la cantidad de agua de la red municipal que se destinará, para tal fin, y cuánta será proporcionada por dichas fuentes, para que en el gasto de diseño se considere, sólo el volumen que abastecerá la red.

Usos públicos

Es el agua que se utiliza en instalaciones de salud, educación, recreación, seguridad, riego de parques y jardines, combate de incendios, etc. (ver tabla 21). En pequeñas localidades, salvo casos especiales, se considera innecesario proyectar sistemas de abastecimiento de agua potable que incluyan protección contra incendios. En localidades medianas o grandes, el problema debe ser estudiado y justificado en cada caso, de acuerdo con las características particulares, en coordinación con el H. Cuerpo de Bomberos, y en su caso considerar los valores que se dan en la tabla 22.

2.2 Demanda

2.2.1 Demanda actual

La demanda actual es la suma de los consumos para cada tipo de usuario más las pérdidas físicas.

Los consumos por tipo de usuarios se obtienen:

- Consumo doméstico.- Multiplicando el consumo, pér capita de cada sector socioeconómico por la población correspondiente.
- Consumo comercial.- Producto del consumo de cada local por el total de locales, de los comercios existentes en el sistema.
- Consumo industrial de servicios.- Se obtiene de multiplicar los consumos de cada trabajador por el total de trabajadores de cada una de las industria de la localidad. En el caso de hoteles, será el consumo de cada cuarto, por el número total de cuartos.
- Consumo industrial de producción.- Se obtiene en forma particular de cada industria de acuerdo con sus necesidades, o bien multiplicando el consumo por unidad de producción por su volumen de producción de cada fábrica.
- Consumos públicos.- Producto del consumo, en hospitales y escuelas, de cada paciente o estudiante por el total de enfermos o alumnos, respectivamente; también, habrá que considerar el consumo de parques y servicios contra incendio, cuando sea el caso.
- Pérdidas de agua.- Volumen que se pierde en el sistema de distribución, obtenido como se indica en el inciso 2.2.2.

La demanda es función de factores como: clase socioeconómica, porcentaje de población de cada estrato socioeconómico, tamaño de la población, clima, existencia de alcantarillado sanitario, tipo de abastecimiento, calidad del agua y costo del agua.

- Clase socioeconómica: la demanda crece conforme se incrementa el nivel económico de la población, debido a que cambian los hábitos de uso del agua.
- Porcentaje de cada clase socioeconómica: En general a mayor proporción de niveles residenciales la demanda se incrementa.
- Tamaño de la población: la demanda aumenta a medida que la población de una ciudad o región se incrementa, debido a que crecen sus requerimientos de agua para uso público e industrial.
- Características de la población: el consumo per cápita dependerá de la actividad principal y costumbres de la población.

- Clima: la demanda de agua aumenta en poblaciones donde la temperatura es más elevada que en las zonas templadas.

- Existencia de alcantarillado: Cuando la comunidad cuenta con sistemas de saneamiento que utilizan, alcantarillado para la disposición de sus desechos, se incrementa la demanda de agua potable.

- Tipo de abastecimiento: la demanda en poblaciones que cuentan con un sistema formal de abastecimiento, es mayor que en aquellas que cuentan con un sistema más rudimentario.

- Calidad del agua: la demanda de agua es mayor cuando su calidad es buena ya que se diversifican sus usos.

- Precio del agua: al aumentar el precio del agua, disminuye la demanda.

2.2.2 Pérdidas físicas

Las pérdidas físicas se refieren al agua que se escapa por fugas en líneas de conducción, tanques, red de distribución, y tomas domiciliarias.

En estudios de campo (ref. 6), se ha definido que estas pérdidas se determinan a partir de muestreos de inspección y aforo (fugas en tomas domiciliarias); de medición en sectores controlados, llamados distritos hidrométricos (fugas en tuberías principales y secundarías y pérdidas en tomas clandestinas); y de verificación de un grupo de micromedidores domiciliarios (pérdidas por mala medición).

El volumen diario de pérdidas físicas, V_p, que se considera para el cálculo de las demandas y dotaciones será el obtenido con la ecuación 18.

$$V_p = V_{fr} + V_{ft} \qquad (18)$$

Donde:

V_p = Volumen de pérdidas, en m^3.

V_{fr} = Volumen de fugas en red, en m^3.

V_{ft} = Volumen de fugas en tomas domiciliarias, en m^3.

Las pérdidas de agua dependen de factores tales como: la presión de trabajo, la calidad de la tubería y los accesorios, el proceso constructivo, el tipo de material, la antigüedad de los elementos del sistema y el mantenimiento preventivo y correctivo que se les practique a los elementos del sistema.

Las consideraciones que sirven para orientar al proyectista, en la evaluación de los porcentajes de las pérdidas, son las siguientes:

Si se dispone de presupuesto y tiempo, establecer el valor de las pérdidas con base en un estudio de evaluación, utilizando los criterios descritos en el libro III, tema 2, subtema 2.1 Control de Fugas, del presente Manual de Agua Potable Alcantarillado y Saneamiento.

Considerar un valor promedio del volumen diario de pérdidas, obtenido de acuerdo a una o varias localidades similares en cuanto a nivel socioeconómico, tamaño de población, ocurrencia del fugas, etc., que ya dispongan de un estudio similar al del párrafo anterior.

En caso de no disponer de información, se puede considerar un valor comprendido entre el 40 % y el 60 % del volumen suministrado, que es el resultado del estudio de campo de 21 ciudades de la República Mexicana (Ref. 6)

De acuerdo con experiencias nacionales e internacionales, se estima que en localidades donde se tenga implementado un programa de detección y control de fugas, se puede aspirar a reducir el porcentaje de fugas entre el 1 % y el 2 % anualmente; razón por la que se puede esperar que en el mediano plazo (5 a 10 años) las fugas sean del orden de 30%.

En ciudades que desarrollan un programa de detección y control de fugas de manera eficaz y eficiente, las pérdidas pueden disminuirse en un 20 % (5 a 10 años), hasta reducirse a un nivel del 20 %, que es el resultado obtenido en algunas ciudades europeas y nacionales.

En ciudades de países muy desarrollados como es el caso de algunas de Estados Unidos y Canadá se ha logrado obtener hasta porcentajes de pérdidas del 15 % y aún menores.

2.2.3 Predicción de la demanda.

Para efectos de diseño es importante determinar la demanda futura. Esta demanda se calcula con base en los consumos de las diferentes clases socioeconómicas, la actividad comercial, industrial, la demanda actual, el pronóstico de crecimiento de la población y su actividad económica.

Para la predicción de la demanda se debe considerar lo siguiente:

La proyección del volumen doméstico total se realiza multiplicando los valores de las proyecciones de población de cada clase socioeconómica, por sus correspondientes consumos per cápita para cada año, dentro del horizonte de proyecto.

Cuando las demandas comercial, industrial y turística sean poco significativas con relación a la demanda doméstica, y no existan proyectos de desarrollo para estos sectores, las primeras quedan incluidas en la demanda doméstica.

Cuando las demandas de los sectores comercial, industrial y turístico sean importantes, deberán considerarse las tendencias de crecimiento histórico con los censos económicos o con proyectos de desarrollo, del sector público o de la iniciativa privada, y se aplicarán los consumos de cada sector a las proyecciones correspondientes.

Por lo que se refiere a las pérdidas físicas de agua, su valor se estima a partir de su comportamiento histórico tomando en cuenta los proyectos de mantenimiento y rehabilitación probables, así como el establecimiento de un programa de control de fugas.

2.3 Dotación

La dotación es la cantidad de agua asignada a cada habitante, considerando todos los consumos de los servicios y las pérdidas físicas en el sistema, en un día medio anual; sus unidades están dadas en l/hab/día.

La dotación media de la localidad se obtiene a partir de un estudio de demandas (secciones 2.4.2 y 2.4.3 de la segunda parte), dividiendo el consumo total, que incluye servicio doméstico, comercial, industrial y de servicios públicos, y las pérdidas físicas de agua, entre el número de habitantes de la localidad. Cabe hacer la aclaración que para el diseño de los elementos de un sistema de agua potable, se calculará la dotación particular que le corresponde a cada zona (habitacional: residencial, media o popular; comercial o industrial).

2.4 Coeficientes de variación

Los coeficientes de variación se derivan de la fluctuación de la demanda debido a los días laborables y otras actividades.

Los requerimientos de agua para un sistema de distribución no son constantes durante el año, ni el día, sino que la demanda varía en forma diaria y horaria. Debido a la importancia de estas fluctuaciones para el abastecimiento de agua potable, es necesario obtener los gastos Máximo Diario y Máximo Horario, los cuales se determinan multiplicando el coeficiente de variación diaria por el gasto medio diario y el coeficiente de variación horaria por el gasto máximo diario respectivamente. La tabla 2 muestra los gastos utilizados para el diseño de las estructuras en los sistemas de abastecimiento de agua potable.

Tabla 2. Gasto de diseño para estructuras de agua potable

TIPO DE ESTRUCTURA	DISEÑO CON GASTO MÁXIMO DIARIO	DISEÑO CON GASTO MÁXIMO HORARIO
Fuentes de abastecimiento	X	
Obra de captación	X	
Línea de conducción antes del tanque de regularización	X	
Tanque de regularización	X	
Línea de alimentación a la red		X
Red de distribución		X

Para la obtención de los coeficientes de variación diaria y horaria lo adecuado es:

- Hacer un estudio de demanda de la localidad, utilizando los criterios descritos en el estudio de "Actualización de dotaciones en el país" (ref. 3).

Si no se puede llevar a cabo lo anterior,

Considerar los valores de los coeficientes de variación diaria y horaria medios que se obtuvieron del estudio de "Actualización de dotaciones en el país" llevado a cabo por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (ref. 3); en donde se determinó la variación del consumo por hora y por día durante un período representativo en cada una de las estaciones del año, calculándose los coeficientes por clase socioeconómica y por clima.

Del análisis de la información de este trabajo, se identificó que no había una diferencia significativa entre el tipo de usuario, clima y estaciones del año, por lo que se pueden utilizar los valores promedio, que se dan a continuación:

Tabla 3. Coeficiente de variación diaria y horaria

CONCEPTO	VALOR
Coeficiente de variación diaria (CV_d)	1.40
Coeficiente de variación horaria (CV_h)	1.55

2.5 Gastos de diseño

2.5.1 Gasto medio diario.

El gasto medio es la cantidad de agua requerida para satisfacer las necesidades de una población en un día de consumo promedio.

El gasto medio diario es:

$$Q_{med} = \frac{DP}{86{,}400} \qquad (19)$$

Donde:

Q_{med} = Gasto medio diario, en l/s.

D = Dotación, en l/hab/día.

P = Número de habitantes.

86,400 = segundos/día

2.5.2 Gastos máximos diario y horario

Los gastos máximo diario y máximo horario, son los requeridos para satisfacer las necesidades de la población en un día de máximo consumo, y a la hora de máximo consumo en un año tipo, respectivamente.

Los gastos máximo diario y máximo horario se obtienen a partir del gasto medio con las expresiones 20 y 21:

$$Q_{Nd} = CV_d \bullet Q_{med} \qquad (20)$$

$$Q_{Mh} = CV_h \bullet Q_{Md} \qquad (21)$$

Donde:

Q_{Md} = Gasto máximo diario, en l/s.

Q_{Mh} = Gasto máximo horario, en l/s.

CV_d = Coeficiente de variación diaria .

CV_h = Coeficiente de variación horaria.

Q_{med} = Gasto medio diario, en l/s.

2.6 Velocidades máxima y mínima

Las velocidades permisibles del líquido en un conducto están gobernadas por las características del material del conducto y la magnitud de los fenómenos transitorios. Existen límites tanto inferiores como superiores. La velocidad mínima de escurrimiento se fija, para evitar la precipitación de partículas que arrastre el agua. La velocidad máxima será aquella con la cual no deberá ocasionarse erosión en las paredes de las tuberías. En la tabla 4 se presentan valores de estas velocidades para diferentes materiales de tubería (ref. 7).

Tabla 4. Velocidades máxima y mínima permisibles en tuberías

MATERIAL DE LA TUBERIA	VELOCIDAD (m/s)	
	MÁXIMA	MINIMA
Concreto simple hasta 45 cm de diámetro	3.00	0.30
Concreto reforzado de 60 cm de diámetro o mayores	3.50	0.30
Concreto presforzado	3.50	0.30
Acero con revestimiento	5.00	0.30
Acero sin revestimiento	5.00	0.30
Acero galvanizado	5.00	0.30
Asbesto cemento	5.00	0.30
Fierro fundido	5.00	0.30
Hierro dúctil	5.00	0.30
Polietileno de alta densidad	5.00	0.30
PVC (policloruro de vinilo)	5.00	0.30

Nota: La velocidad máxima es considerando que se han resuelto los problemas asociados a fenómenos transitorios.

2.7 Cálculo de pérdidas de energía.

2.7.1 Pérdidas de carga por fricción

El coeficiente de fricción es la variable de diseño que permite calcular las pérdidas de energía en el escurrimiento por un conducto.

Se ha determinado que en el diseño de conductos a presión de sistemas de agua potable, para obtener de las pérdidas de energía se utilice el modelo de Darcy - Weisbach. Esto se debe a:

- El modelo de Darcy-Weisbach tiene un fundamento teórico, respecto al esfuerzo cortante entre la pared de la tubería y el líquido, así como a la viscosidad del mismo.

- Su rango de aplicación no se restringe a las variables experimentales, como sucede con los modelos experimentales de Hazen-Williams y Manning.

- Este modelo considera a los tres tipos de regímenes de flujo (laminar, transición y turbulento), lo cual no ocurre con el modelo empírico de Hazen-Williams, y como se ha podido observar en redes de agua potable y líneas de conducción, se han detectado tramos en los que el flujo se comporta, en el rango de transición o turbulento (ref. 8).

- Debido a la, automatización por computadora del proceso de cálculo de las redes de agua potable, se facilita el uso de modelos complicados, que en otro tiempo tuvieron que ser sustituidos por aproximaciones experimentales.

2.7.2 Ecuación de Darcy-Weisbach

Se usará para el cálculo de pérdidas por fricción en el diseño de conductos a presión para agua potable, la fórmula:

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \qquad (22)$$

Donde:

H_f = Pérdida de energía por "fricción", en m

f = Coeficiente de "fricción", adimensional

L = Longitud de la tubería, en m

D = Diámetro interno del tubo, en m

V = Velocidad media, en m/s

g = Aceleración de la gravedad; en m/ s^2

Para encontrar el valor del coeficiente de fricción "f", se usa la fórmula:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2\log\left(\frac{\frac{\varepsilon}{D}}{3.71} + \frac{2.51}{R_e\sqrt{f}}\right) \qquad (23)$$

Donde:

f = Coeficiente de "fricción" (adimensional)

$\in$ = Rugosidad, en mm (tabla 6)

Re = Número de Reynolds, (adimensional)

D = Diámetro interior del tubo, en mm

Y e número de Reynolds está dado por la expresión 24.

$$R_e = \frac{vD}{\upsilon} \qquad (24)$$

Donde:

V = Velocidad media en el conducto, en cm/s

D = Diámetro interno del tubo, en cm

ν = Viscosidad cinemática del agua en cm^2/s

La viscosidad cinemática ν varía con la temperatura (ref. 10); para una temperatura de 2°C la viscosidad cinemática del agua es 1 m^2/seg (lámina 4).

La gráfica que relaciona estas expresiones se presenta en la lámina 3 y es conocida como Diagrama de Moody.

2.7.3 Ecuación modificada de Celebrook - White

La ecuación de Darcy-Weisbach se ha conocido desde un principio como la mejor formula para calcular las perdidas de energía por conducción, sin embargo, por la dificultad que presenta la ecuación de Celebrook - White para obtener el valor de f, principalmente en redes de tubos , ha ocasionado el uso generalizado de las ecuaciones empíricas de Manning y de Hazen – Williams en los sistemas de agua potable.

Se han realizado varios estudios para obtener expresiones explícitas para el cálculo del coeficiente de pérdida "f" ajustado a los resultados de la ecuación de Colebrook - White y poder aprovechar las ventajas que tiene esta ecuación.

A continuación se presentan dos expresiones que arrojan valores de "f" muy similares a los de la ecuación de Colebrook - White (ref. 16):

Ecuación de Swamme y Jain:

$$f = \frac{0.25}{\left[\log\left(\frac{\frac{\varepsilon}{D}}{3.71} + \frac{5.74}{R_e^{0.90}}\right)\right]} \qquad (25)$$

Ecuación de Guerrero:

$$f = \frac{0.25}{\left[\log\left(\frac{\left(\frac{\varepsilon}{D}\right)}{3.71} + \frac{G}{R_e^{T}}\right)\right]^2} \qquad (26)$$

Donde:

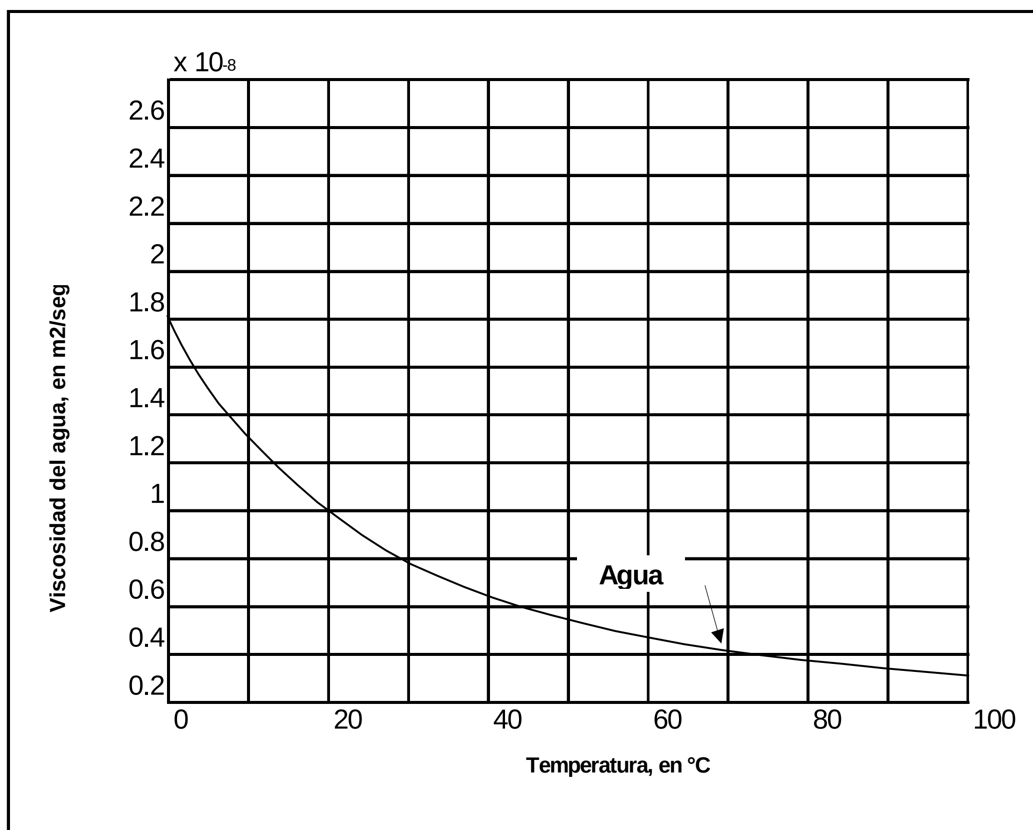
$G = 4.555$ y $T = 0.8764$ para $4000 \leq R_e \leq 10^5$

$G = 6.732$ y $T = 0.9104$ para $10^5 \leq R_e \leq 3 \times 10^6$

$G = 8.982$ y $T = 0.9300$ para $3 \times 10^6 \leq Re \leq 10^8$

Lámina 3. Coeficiente de fricción para cualquier tipo y tamaño de tubo. (Diagrama universal de Moody).

Lámina 4. Variación de la viscosidad cinemática del agua (v) con la temperatura (ref. 10).



Para convertir los valores cm^2/seg, se debe multiplicar por 10,000.

Algunos valores de la rugosidad ε de los materiales se presentan en la tabla 5.

Tabla 5. Rugosidad ε de algunos materiales (ref. 10).	
MATERIAL	ε en mm
Cobre, PVC, polietileno de alta densidad	0.0015
Fierro fundido	0.005 a 0.03
Acero	0.04 a 0.10
Asbesto cemento	0.025
Concreto	0.16 a 2.0

Nota:
Para fierro fundido nuevo el valor de ε será de 0.005; cuando se use fierro fundido oxidado será de 0.030.

Con concreto liso el valor de ε será de 0.16; si se tiene concreto áspero ε será de 2.0.

2.7.4 Variación del coeficiente de fricción con la edad de la tubería

Los experimentos hechos con tuberías de varios materiales, que han sido utilizadas por largo tiempo, con frecuencia muestran valores de coeficientes de fricción mucho mayores que los dados para conductos nuevos. Esto se debe al aumento de la rugosidad o incrustación gradual de la tubería, por la acumulación de protuberancias de oxidación o de otros materiales sobre las paredes de la tubería.

El deterioro de la tubería con la edad de la misma depende de la calidad del agua y del tipo de material, por lo cual el tiempo no es el único factor que influye en este problema.

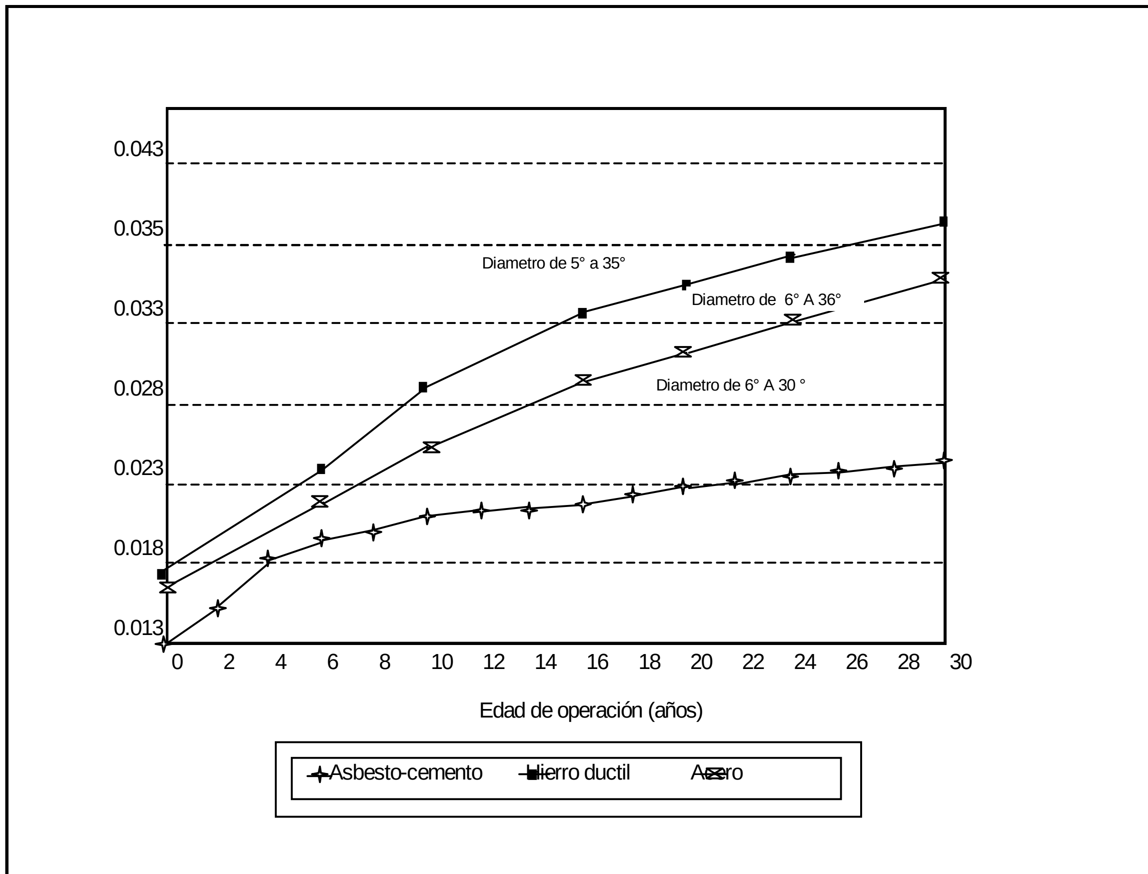
Las tuberías de diámetro pequeño se deterioran más rápidamente que las de diámetro más grande, debido al efecto proporcionalmente mayor de la resistencia de las paredes ya que el área de la sección queda reducida rápidamente por las incrustaciones.

El Instituto Mexicano de Tecnología del Agua realizó en el año de 1991 (ref. 8) mediciones de gasto y presión en los acueductos y conducciones de las ciudades de Chihuahua, Chih., Hidalgo del Parral, Chih., Ciudad Juárez, Chih. y Tuxtla Gutiérrez, Chis., con el objetivo de evaluar el coeficiente de fricción para tuberías de asbesto cemento con diferentes edades de operación.

Se determinaron los coeficientes de fricción para, tuberías de asbesto cemento de diferentes clases, diámetros nominales desde 10" (254 mm) hasta 30" (762 mm) y con edades de operación desde 0.3 hasta 34 años. En la lámina 5 se muestra una gráfica que representa los resultados antes expuestos, así como la variación de "f', para otros materiales, obtenidos de estudios similares realizados en los Estados Unidos de Norteamérica para tuberías de hierro dúctil y acero.

Los resultados obtenidos en la lámina 5 sirven para ilustrar la variación del coeficiente "f" con la edad de la tubería. En virtud de que además de ésta, intervienen diversos factores, que influyen en su comportamiento como se mencionó anteriormente, cada caso deberá ser considerado en forma particular, cuando se realice una revisión del funcionamiento hidráulico de las tuberías de la red.

Lámina 5. Variación del coeficiente de fricción “f” para aplicarse en la fórmula de Darcy, con la edad de la tubería para diferentes materiales.



Al revisar la capacidad de la infraestructura existente, se deberá tomar el valor real de los coeficientes de fricción, para que el cálculo esté más acorde con el funcionamiento.

Lámina 5. Variación del coeficiente de fricción “f” para aplicarse en la fórmula de Darcy, con la edad de la tubería para diferentes materiales.

2.8 Coeficientes de regularización

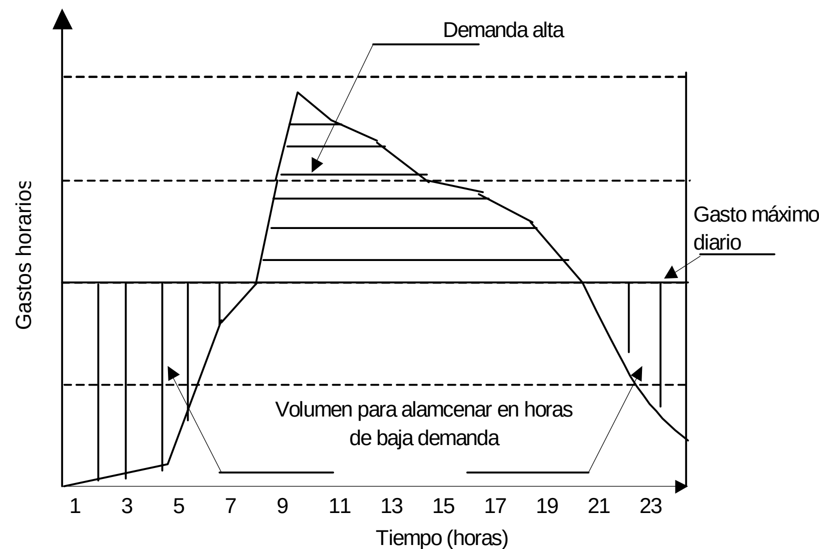
La regularización tiene por objeto cambiar el régimen de suministro (captación conducción), que normalmente es constante, a un régimen de demandas (de la red de distribución), que siempre es variable.

El tanque de regularización es la estructura destinada para cumplir esta función, y debe proporcionar un servicio eficiente, bajo normas estrictas de higiene y seguridad, procurando que su costo de inversión y mantenimiento sea mínimo.

Adicionalmente a la capacidad de regularización, se puede contar con un volumen extra y considerarlo para alimentar a la red de distribución en condiciones de emergencia (incendios, desperfectos en la captación o en la conducción, etc.). Este volumen debe justificarse plenamente en sus aspectos técnicos y financieros.

La capacidad del tanque está en función del gasto máximo diario y la ley de demandas de la localidad, calculándose ya sea por métodos analíticos o gráficos.

El coeficiente de regularización, está en función del tiempo (número de horas por día) de alimentación de las fuentes de abastecimiento al tanque requiriéndose almacenar el agua en las horas de baja demanda, para distribuirla en las de alta demanda.



La capacidad de regularización varía si se cambia el horario de alimentación (o bombeo), aun cuando permanezca constante el número de horas de alimentación. Si se bombeara 20 horas de las 0 a las 20 horas el coeficiente de regularización resulta de 12.57, diferente al valor de 8.97 obtenido para 20 horas con horario de las 4 a las 24 horas (tabla 8).

Es por ello importante tomar en consideración para el cálculo de la capacidad de los Tanques, el número de horas, de alimentación o, bombeo, como su horario, el cual estará en función de las políticas de operación y los costos de energía eléctrica, los cuales son mayores en las horas de máxima demanda (horas, pico).

La CNA y el JIVITA analizaron demandas para diferentes ciudades del país (ref. 3). Asimismo, el Banco Nacional Hipotecario Urbano y de Obras Públicas, S.A., actualmente Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos (BANOBRAS), elaboró un estudio en la ciudad de México. Las variaciones del consumo promedio, expresadas como porcentajes horarios del gasto máximo diario se muestran en la lámina 6, y para la ciudad de México en la lámina 7.

Con la información obtenida, se realizó el cálculo para determinar los coeficientes de regularización, en donde se consideró abastecimiento durante las 24 horas del día. Después, en dichos estudios se varió el tiempo de abastecimiento, analizando 20 y 16 horas por día. Tomando en cuenta la variación horaria en la demanda, resulta que los más convenientes para estos casos de bombeo son:

- Para 20 horas de bombeo: de las 4 a las 24 horas.
- Para 16 horas de bombeo: de las 5 a las 21 horas.

Para calcular los coeficientes de regularización (R) se utiliza el método indicado en el capítulo 3.2 de la segunda parte; en las tablas 6 y 7 se dan ejemplos para tiempos de suministro al tanque de 24 y 20 horas al día respectivamente con las variaciones de consumos de la lámina 6.

Lámina 6. Variación del gasto horario (ref. 3).

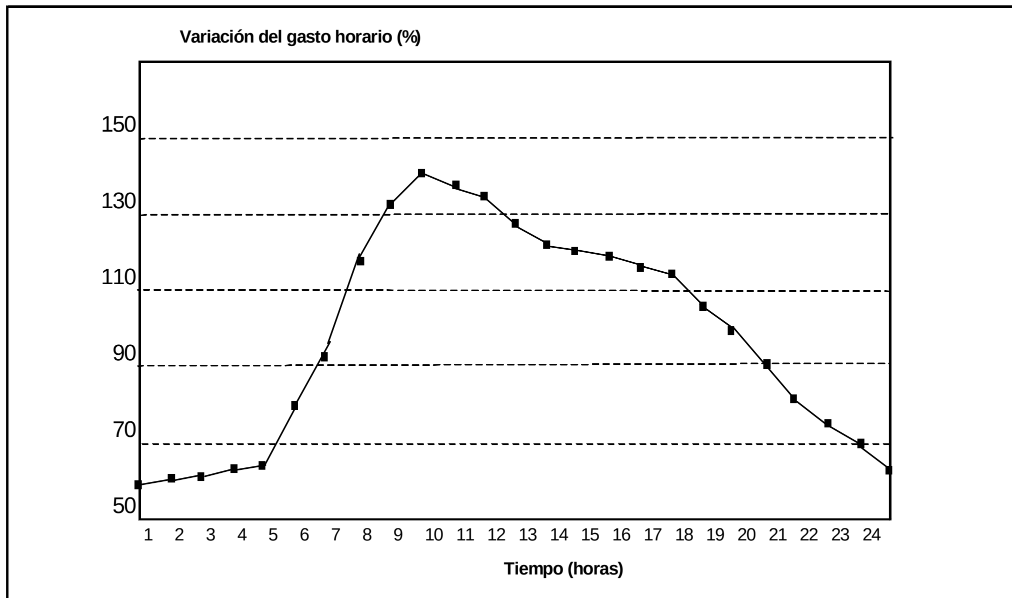


Lámina 7. Variación del gasto horario en la Ciudad de México (BANOBRAS).

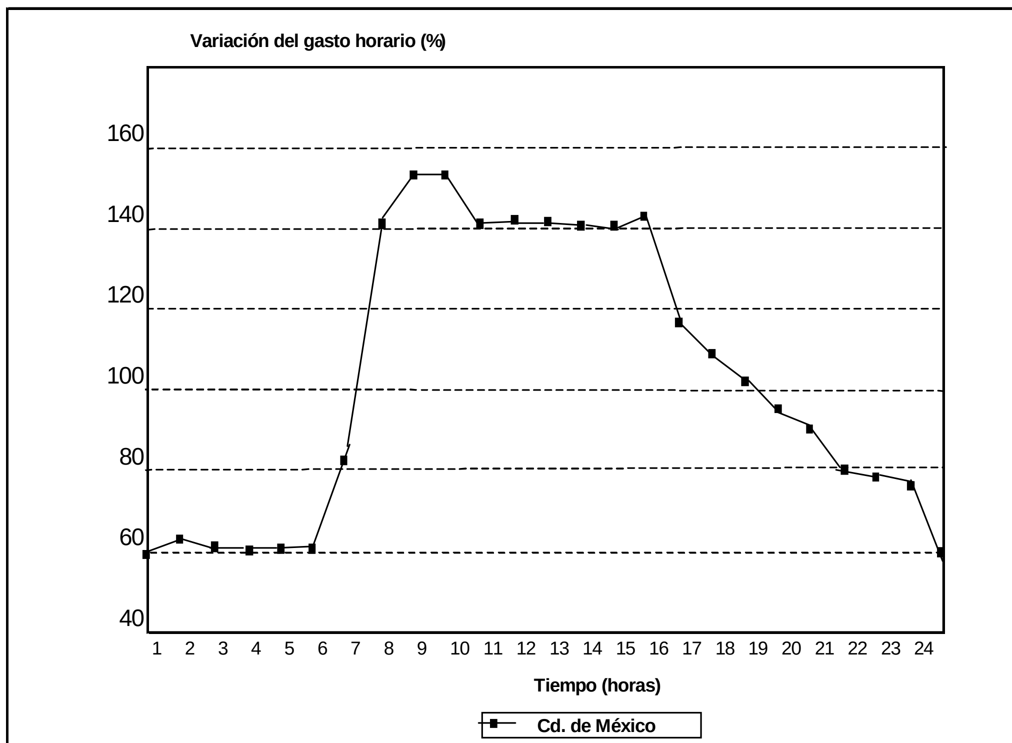


Lámina 7. Variaición del gasto horario en la Ciudad de México (BANOBRAS)

Lámina 6			Lámina 7	
Hora	Variación del gasto horario (%)		Hora	Variación del Gasto horario (%)
0-1	60.6		0-1	61.0
1-2	61.6		1-2	62.0
2-3	63.3		2-3	60.0
3-4	63.7		3-4	57.0
4-5	65.1		4-5	57.0
5-6	62.8		5-6	56.0
6-7	93.8		6-7	78.0
7-8	119.9		7-8	138.0
8-9	130.7		8-9	152.0
9-10	137.2		9-10	152.0
10-11	134.3		10-11	141.0
11-12	132.9		11-12	138.0
12-13	128.6		12-13	138.0
13-14	126.6		13-14	138.0
14-15	121.6		14-15	138.0
15-16	120.1		15-16	141.0
16-17	119.6		16-17	114.0
17-18	115.1		17-18	106.0
18-19	112.1		18-19	102.0
19-20	105.6		19-20	91.0
20-21	90.1		20-21	79.0
21-22	78.4		21-22	73.0
22-23	71.0		22-23	71.0
23-24	65.1		23-24	57.0

Tabla 6. Coeficiente de regularización para suministro de 24 horas/día.				
HORAS	SUMINISTRO (ENTRADAS) O BOMBEO EN %	DEMANDAS (SALIDAS)		
		DEMANDA HORARIA EN %	DIFERENCIAS	DIFERENCIAS ACUMULADAS
0-1	100	60.60	39.40	34.90
1-2	100	61.60	38.40	77.80
2-3	100	63.30	36.70	114.50
3-4	100	63.70	36.30	150.80
4-5	100	65.10	34.90	185.70
5-6	100	82.80	17.20	202.90
6-7	100	93.80	6.20	209.10
7-8	100	119.90	-19.90	189.20
8-9	100	130.70	-30.70	158.50
9-10	100	137.20	-37.20	121.30
10-11	100	134.30	-34.30	87.00
11-12	100	132.90	-32.90	54.10
12-13	100	128.80	-28.80	25.30
13-14	100	126.60	-26.60	-1.30
14-15	100	121.60	-21.60	-22.90
15-16	100	120.10	-20.10	-43.00
16-17	100	119.60	-19.60	-62.60
17-18	100	115.10	-15.10	-77.70
18-19	100	112.10	-12.10	-89.80
19-20	100	105.60	-5.60	-95.40 *
20-21	100	90.10	9.90	-85.50
21-22	100	78.40	21.60	-63.90
22-23	100	71.00	29.00	34.90
23-24	100	65.10	34.90	0
TOTAL	2400	2400		

Q_{md} = Gasto máximo diario

C = Capacidad de regularización

R = Coeficiente de regularización

ct = 209.1 + 95.4 = 304.50

R = (304.50/100)(3600/1000) = 10.96, se aproximará a 11.0

C = 11.00 Q_{md}

Tabla 7. Coeficiente de regularización para suministro de 20 horas/día (de las 4 a las 24 horas).				
HORAS	SUMINISTRO (ENTRADAS) 0 BOMBEO EN %	DEMANDAS (SALIDAS)		
		DEMANDA HORARIA EN %	DIFERENCIAS	DIFERENCIAS ACUMULADAS
0-1	0	60.60	-60.60	-60.60
1-2	0	61.60	-61.60	-122.20
2-3	0	63.30	-63.30	-185.50
3-4	0	63.70	-63.70	-249.20
4-5	120	65.10	54.90	-194.30
5-6	120	82.80	37.20	-157.10
6-7	120	93.80	26.20	-130.90
7-8	120	119.90	0.10	-130.80
8-9	120	130.70	-10.70	-141.50
9-10	120	137.20	-17.20	-158.70
10-11	120	134.30	-14.30	-173.00
11-12	120	132.90	-12.90	-185.90
12-13	120	128.80	-8.80	-194.70
13-14	120	126.60	-6.60	-20t.30
14-15	120	121.60	- 1.60	-202.90
15-16	120	120.10	-0.10	-203.00
16-17	120	119.60	0.40	-202.60
17-18	120	115.10	-4.90	-197.70
18-19	120	112.10	-7.90	-189.80
19-20	120	105.60	-14.40	-175.40
20-21	120	90.10	29.90	-145.50
21-22	120	78.40	41.60	-103.90
22-23	120	71.00	49.00	-54.90
23-24	120	65.10	54.90	0
TOTAL	2400	2400		

Q_{md} = Gasto máximo diario

C = Capacidad de regularización

R = Coeficiente de regularización

ct = 249.2

R = (249.2/100)(3600/1000) = 8.97, se aproximará a 9.0

C = 9.00 Q_{md}

Cuando se modifique el horario de bombeo a un periodo menor de 24 h/ día, se debe cambiar el gasto de diseño de la fuente de abastecimiento y conducción, incrementándolo proporcionalmente a la reducción del tiempo de bombeo; el gasto de diseño se obtiene con la expresión:

$$Q_d = \frac{24Q_{Md}}{t_b} \qquad (27)$$

Donde:

Q_d = Gasto de diseño en l/s

Q_{Md} = Gasto máximo diario en l/s

T_b = Tiempo de bombeo en horas/ día

Para cualquier alternativa de reducción del tiempo de bombeo, se debe considerar que habrá un incremento en los costos de la infraestructura de la conducción y fuente de abastecimiento, y esta última deberá satisfacer el incremento de caudal.

En la tabla 8 se muestran a manera de ejemplo algunos coeficientes de regularización calculados a partir de la curva de la lámina. 6 de las ciudades estudiadas. Cuando no se conoce la ley de demandas de una localidad en particular, se aplican estos valores.

Tabla 8. Coeficiente de regularización (ref. 3).

TIEMPO DE SUMINISTRO AL TANQUE (hr)	COEFICIENTE DE REGULARIZACIÓN (R)
24	11.0
20 (De las 4 a las 24 hrs.)	9.0
16 (De las 5 a las 21 hrs.)	19.0

De la misma manera. En la tabla 9 se muestran los valores de coeficientes de regularización para la ciudad de México, para diferentes tiempos de bombeo (ref. 7).

Tabla 9. Coeficientes de regularización para la ciudad de México

TIEMPO DE SUMINISTRO AL TANQUE (hr)	COEFICIENTE DE REGULARIZACIÓN (R)
24	14.3
20 (De las 4 a las 24 hrs.)	9.6
16 (De las 6 a las 22 hrs.)	17.3

Entonces, la capacidad del tanque de regularización se determina con la ecuación 30, más el volumen considerado para situaciones de emergencia.

$$C = RQ_{Md} \qquad (28)$$

Donde:

C = Capacidad del tanque, en m^3.

R = Coeficiente de regularización.

Q_{Md} = Gasto máximo diario, en l/s.

2.9 Zanjas Para instalación de tuberías

Las tuberías se instalan sobre la superficie o enterradas, dependiendo de la topografía, clase de tubería y tipo de terreno.

Para obtener la máxima protección de las tuberías se recomienda que éstas se instalen en zanja. Además de la protección contra el paso de vehículos, el tipo de instalación que se adopte, debe considerar otros factores relacionados con la protección de la línea, como son el deterioro o maltrato de animales, la exposición a los rayos solares, variación de la temperatura, etc.

2.9.1 Ancho y profundidad de la zanja

Para determinar el ancho de la zanja para alojar las tuberías, se hará con cualquiera de los siguientes criterios:

- Para tuberías con diámetro exterior menor a 50 cm, el ancho de la zanja será el diámetro exterior mas 50 cm.

- Para tuberías con diámetro exterior mayor o igual a 50 cm, el ancho ale la zanja será el diámetro exterior mas 60 cm.

Los anchos de zanja que resulten de los cálculos se deberán redondear a múltiplos de cinco.

En la tabla 10 se presentan anchos de zanja que en general cumple con estos criterios, sin embargo los valores se deben verificar.

Es indispensable que a la altura del lomo del tubo, la zanja tenga realmente el ancho que se indica en el tabla 10; a partir de este punto puede dársele a sus paredes el talud necesario para evitar el empleo de ademe. Si resulta conveniente el empleo de ademe, el ancho de la zanja debe ser igual al indicado en la tabla 10 más el ancho que ocupe el ademe.

La profundidad mínima será de 70 cm en tuberías de hasta 51 mm de diámetro y en adelante será igual al diámetro exterior del tubo, más 5 cm, más el colchón indicado en la tabla 13.

Por lo que se refiere a la profundidad máxima, esta variará en función de las características particulares de la resistencia de la tubería que se trate, tomando en cuenta el factor de carga proporcionado por la plantilla de apoyo que se use ("A" o "B"), el peso volumétrico del material de relleno y la carga viva en la superficie.

Tabla 10. Dimensiones de zanjas y plantillas para tubería de agua potable y alcantarillado

DIÁMETRO NOMINAL (cm)	(pulgadas)	ANCHO Bd (cm)	PROFUNDIDAD H (cm)	ESPESOR DE LA PLANTILLA (cm)	VOLUMEN DE EXCAVACIÓN (m³/m)
2.5	1	50	70	5	0.35
3.8	1½	55	70	5	0.39
5.1	2	55	70	5	0.39
6.3	2½	60	100	7	0.60
7.5	3	60	100	7	0.60
10.0	4	60	105	10	0.63
15.0	6	70	110	10	0.77
20.0	8	75	115	10	0.86
25.0	10	80	120	10	0.96
30.0	12	85	125	10	1.06
35.0	14	90	130	10	1.17
40.0	16	95	140	10	1.33
45.0	18	110	145	10	1.60
50.0	20	115	155	11	1.78
61.0	24	130	165	13	2.15
76.0	30	150	185	14	2.77
91.0	36	170	210	15	3.57
107.0	42	190	230	17	4.37
122.0	48	210	245	20	5.14
162.0	60	250	300	23	7.50
183.0	72	280	340	27	9.52
213.0	84	320	380	30	12.16
244.0	98	350	415	34	14.53

Nota: En la lámina 8 se presenta un esquema del relleno de la zanja y de la plantilla.

En el caso de tuberías de materiales como asbesto-cemento y PVC, deberá observarse lo siguiente:

- La tubería de asbesto-cemento debe alojarse en zanja para obtener la máxima protección y sólo en casos excepcionales se podrá instalar superficialmente garantizando su protección y seguridad.

- En el caso de tuberías de PVC su instalación se hará siempre en zanja.

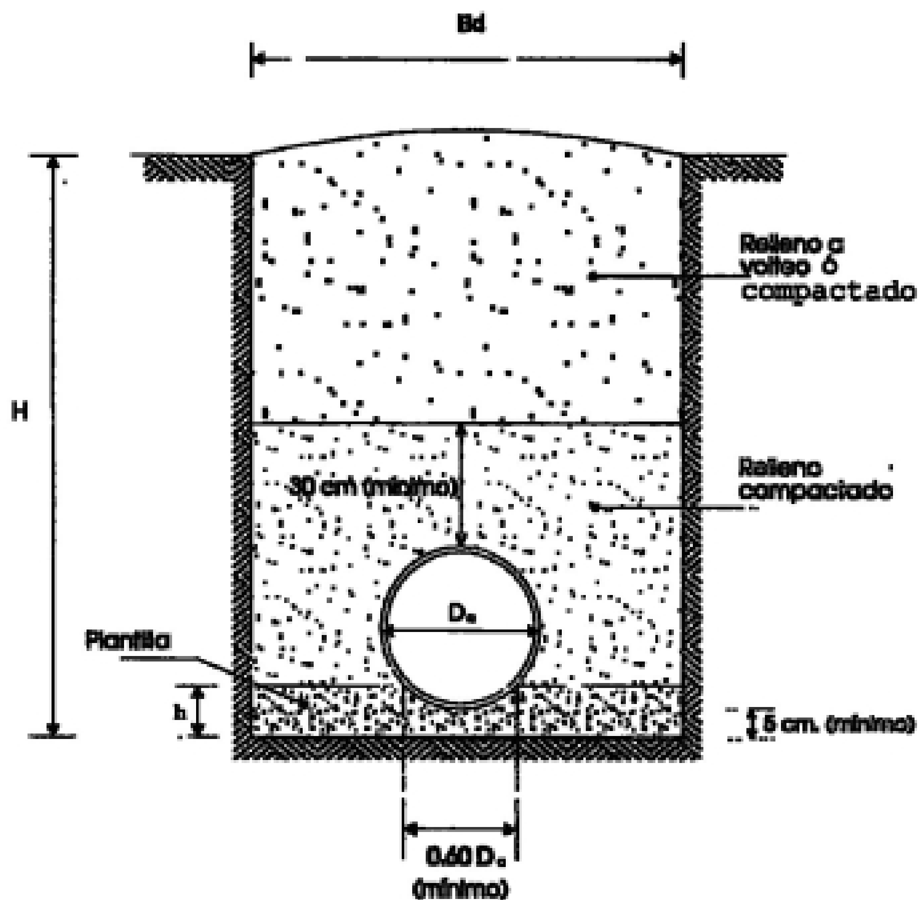
Por otro lado, las tuberías de acero, fierro galvanizado (FoGo), concreto y hierro dúctil se podrán instalar superficialmente garantizando su protección y seguridad.

2.9.2 Plantilla o cama

Deberá colocarse una cama de material seleccionado libre de piedras, para el asiento total de la tubería, de tal forma que no se provoquen esfuerzos adicionales a ésta.

La plantilla o cama consiste en un piso de material fino, colocado sobre el fondo de la zanja, que previamente ha sido arreglado con la concavidad necesaria para ajustarse a la superficie externa inferior de la tubería, en un ancho cuando menos igual al 60% de su diámetro exterior (lámina 8). El resto de la tubería debe ser cubierto hasta una altura de 30 cm arriba de su lomo con material granular fino colocado a mano y compactado cuidadosamente con equipo manual y humedad óptima, llenando todos los espacios libres abajo y adyacentes a la tubería (acostillado). Este relleno se hace en capas que no excedan de 15 cm de espesor (lámina 8). El resto de la zanja podrá ser rellenado a volteo, o compactado según sea el caso: si la tubería se instala en zona urbana con tránsito vehicular intenso todo el relleno será compactado, y si se instala en zonas con poco tránsito vehicular o rurales será a volteo.

Lámina 8. Relleno de zanja.



Se excavará cuidadosamente las cavidades o conchas para alojar la campana o cople de las juntas de los tubos, con el fin de permitir que la tubería se apoye en toda su longitud sobre el fondo de la zanja o de la plantilla apisonada.

Los espesores de plantilla (h) para tuberías de agua potable se muestran en la tabla 10; el espesar mínimo sobre el eje vertical de la tubería será de 5 cm. En caso de instalar tubería de acero y si la superficie del fondo de la zanja lo permite, no es necesaria la plantilla. En lugares excavados en roca o tepetate duro, se preparará la plantilla de material suave que pueda dar un apoyo uniforme al tubo, con tierra o arena suelta.

3. PROYECTOS DE ALCANTARILLADO SANITARIO.

3.1 Aportación de aguas residuales

Es el volumen diario de agua residual entregado a la red de alcantarillado. La mayoría de los autores e investigadores están de acuerdo en que la aportación es un porcentaje del valor de la dotación, ya que existe un volumen de líquido que no tributa a la red de alcantarillado, como el utilizado para el consumo humano, riego de jardines, lavado de coches, etc.

Considerando lo anterior, se adopta como aportación de aguas negras el 75% de la dotación de agua potable (en l/hab/día), considerando que el 25% restante se consume antes de llegar a las atarjeas. La CNA, está llevando a cabo mediciones de aportaciones en algunas ciudades del país, una vez concluido este estudio, se darán a conocer los resultados.

En las localidades que tienen zonas industriales con un volumen considerable de agua residual, se debe obtener el porcentaje de aportación para cada una de estas zonas, independientemente de las anteriores.

Al igual que en los consumos, el cálculo de las aportaciones se realiza para las condiciones actual y futura de la localidad.

3.2 Gastos de diseño

Los gastos que se consideran en los proyectos de alcantarillado son: medio, mínimo, máximo instantáneo y máximo extraordinario. Los tres últimos se determinan a partir del primero.

3.2.1 Gasto medio

Es el valor del caudal de aguas residuales en un día de aportación promedio al año.

La CNA considera que el alcantarillado deben construirse herméticamente (ref. 11), por lo que no se adicionará al caudal de aguas negras el volumen por infiltraciones.

En función de la población y de la aportación (ref. 14), el gasto medio de aguas negras en cada tramo de la red, se calcula con:

$$Q_{MED} = \frac{A_P P}{86{,}400} \qquad (29)$$

Donde:.

Q_{MED} = Gasto medio de aguas negras en l/s.

A_P = Aportación de aguas negras en l/hab/día

P = Población, en número de habitantes.

86,400 = segundos / día.

Para localidades con zonas industriales, que aportan al sistema de alcantarillado volúmenes considerables, de acuerdo al inciso 3.1, se debe adicionar al gasto medio, el gasto de aportación obtenido.

3.2.2 Gasto mínimo

El gasto mínimo, Q_{min} (ecuación 30) es el menor de los valores de escurrimiento que normalmente se presenta en un conducto. Se acepta que este valor es igual a la mitad del gasto medio.

$$Q_{min} = 0.5 Q_{MED} \qquad (30)$$

En la tabla 11 se muestran valores del gasto mínimo que también pueden ser usados en el diseño de atarjeas. Se observa que el límite inferior es de 1.5 l/s, lo que significa que en los tramos iniciales de las redes de alcantarillado, cuando resulten valores de gasto mínimo menores a 1.5 l/s, se debe usar este valor en el diseño.

Tabla 11. Gasto mínimo de aguas residuales.					
Diámetro (cm)	No. Descargas simultáneas	Excusado de 16 litros		Excusado de 8 litros	
		Aportación por descarga (l/s)	Gasto mínimo Aguas Negras (l/s)	Aportación por descarga (l/s)	Gasto mínimo Aguas negras (l/s)
20	1	1.5	1.5	1.0	1.0
25	1	1.5	1.5	1.0	1.0
30	2	1.5	3.0	1.0	2.0
38	2	1.5	3.0	1.0	2.0
46	3	1.5	4.5	1.0	3.0
61	5	1.5	7.5	1.0	5.0
76	8	1.5	12.0	1.0	8.0
91	12	1.5	18.0	1.0	12.0

Es conveniente mencionar, que 1.5 l/s es el gasto que genera la descarga de un excusado con tanque de 16 litros (excusado tradicional). Sin embargo, actualmente existe una tendencia a la implantación de muebles de bajo consumo, que utilizan solamente 6 litros y que arrojan un gasto promedio de 1.0 l/s, por lo que se podrá utilizar este último valor en algunos tramos iniciales de la red, siempre y cuando se asegure que en dichos tramos existen este tipo de aparatos.

3.2.3 Gasto máximo instantáneo

El gasto máximo instantáneo es el valor máximo de escurrimiento que se puede presentar en un instante dado. Para evaluar este gasto se consideran criterio ajenos a las condiciones socioeconómicas de cada lugar.

El gasto máximo instantáneo se obtiene a partir del coeficiente de Harmon (M):

$$M = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{P}} \qquad (31)$$

Donde P es la población servida acumulada hasta el punto final (aguas abajo) del tramo de tubería considerada en miles de habitantes.

Este coeficiente de variación máxima instantánea, se aplica considerando que:

- En tramos con una población acumulada menor a los 1,000 habitantes, el coeficiente M es constante e igual a 3.8.

- Para una población acumulada mayor que 63,454, el coeficiente M se considera constante e igual a 2.17, es decir, se acepta que su valor a partir de esa cantidad de habitantes, no sigue la Ley de variación establecida por Harmon.

Lo anterior resulta de considerar al alcantarillado como un reflejo de la red de distribución de agua potable, ya que el coeficiente “M” se equipara con el coeficiente de variación del gasto máximo horario necesario en un sistema de agua potable, cuyo límite inferior es de 1.40x1.55 = 2.17.

Así, la expresión para el cálculo del gasto máximo instantáneo es:

$$Q_{Minst} = MQ_{MED} \qquad (32)$$

Donde:

Q_{Minst} = Gasto máximo instantáneo, en l/s.

M = Coeficiente de Harmon o de variación máxima instantánea.

3.2.4 Gasto máximo extraordinario

Es el caudal de aguas residuales que considera aportaciones de agua que no forman parte de las descargas normales, como por ejemplo bajadas de aguas pluviales de azoteas, patios, o las provocadas por un crecimiento demográfico explosivo no considerado.

En función de este gasto se determina el diámetro adecuado de los conductos, ya que brinda un margen de seguridad para prever los excesos en las aportaciones que pueda recibir la red, bajo esas circunstancias.

En los casos en que se diseñe un sistema nuevo apegado a un plan de desarrollo urbano que impida un crecimiento desordenado y se prevea que no existan aportaciones pluviales de los predios vecinos, ya que estas serán manejadas por un sistema de drenaje pluvial por separado, el coeficiente de seguridad será 1.

En los casos en que se diseñe la ampliación de un sistema existente de tipo combinado, previendo las aportaciones extraordinarias de origen pluvial, se podrá usar un coeficiente de seguridad de 1.5.

La expresión para el cálculo del gasto máximo extraordinario resulta:

$$Q_{Maxt} = CSQ_{Minst} \qquad (33)$$

Donde:

Q_{Mext} = Gato máximo extraordinario, en l/s.

CS = Coeficiente de seguridad.

3.3 Variables hidráulicas permisibles

3.3.1 Velocidades

La velocidad mínima se considera es aquella con la cual no se presentan depósitos de sólidos suspendidos en las atarjeas que provoquen azolves y taponamientos. La velocidad mínima permisible es de 0.3 m/s, considerando el gasto mínimo mencionado en la tabla 11 y su tirante correspondiente.

Adicionalmente, debe asegurarse que dicho tirante tenga un valor mínimo de 1.0 cm en casos de pendientes fuertes y de 1.5 cm en casos normales.

La velocidad máxima es el límite superior de diseño, con el cual se trata de evitar la erosión de las paredes de los conductos y estructuras. Para su revisión se utiliza el gasto máximo extraordinario y la tabla 4, del inciso 2.6.

3.3.2 Pendientes

El objeto de limitar los valores de pendientes es evitar, hasta donde sea posible, el azolve y la construcción de estructuras de caída libre que además de encarecer notablemente las obras, propician la producción de sulfuro de hidrógeno, gas muy tóxico, que destruye el concreto de los conductos cuando son de este material, y aumenta los malos olores de las aguas negras, propiciando la contaminación ambiental.

Las pendientes de las tuberías, deberán seguir hasta donde sea posible el perfil del terreno, con objeto de tener excavaciones mínimas, pero tomando en cuenta las restricciones de velocidad del inciso anterior.

En los casos especiales en donde las pendientes del terreno sean muy grandes, es conveniente que para el diseño se consideren tuberías que permitan velocidades altas, y se debe hacer un estudio técnico-económico de tal forma que se pueda tener sólo en casos extraordinarios y en tramos cortos velocidades de hasta 8 m/s.

3.3.3 Diámetros

- Diámetro mínimo. La experiencia en la conservación y operación de los sistemas de alcantarillado a través de los años, ha demostrado que para evitar obstrucciones, el diámetro mínimo en las tuberías debe ser de 20 cm.

- Diámetro máximo. Está en función de varios factores, entre los que destacan: el gasto máximo extraordinario de diseño, las características topográficas y de mecánica de suelos de cada localidad en particular, el tipo de material de la tubería y los diámetros comerciales disponibles en el mercado.

- En cualquier caso, la selección del diámetro depende de las velocidades permisibles, aprovechando al máximo la capacidad hidráulica del tubo trabajando a superficie libre.

3.4 Pérdidas de carga por fricción.

En alcantarillado, generalmente se presenta la condición de flujo a superficie libre, para simplificar el diseño del alcantarillado se consideran condiciones de flujo establecido.

Para el cálculo hidráulico del alcantarillado se debe utilizar la fórmula de Manning (ecuación 34), ya que es la que mejor simula el comportamiento del flujo a superficie libre.

$$V = \frac{1}{n} r_h^{2/3} S^{1/2} \qquad (34)$$

Donde:

V = velocidad en m/s

R_h = Radio hidráulico, en m

S = Pendiente del gradiente hidráulico, adimensional

n = Coeficiente de “fricción”, adimensional

El radio hidráulico se calcula con la expresión 37:

$$r_h = \frac{A}{P_m} \qquad (35)$$

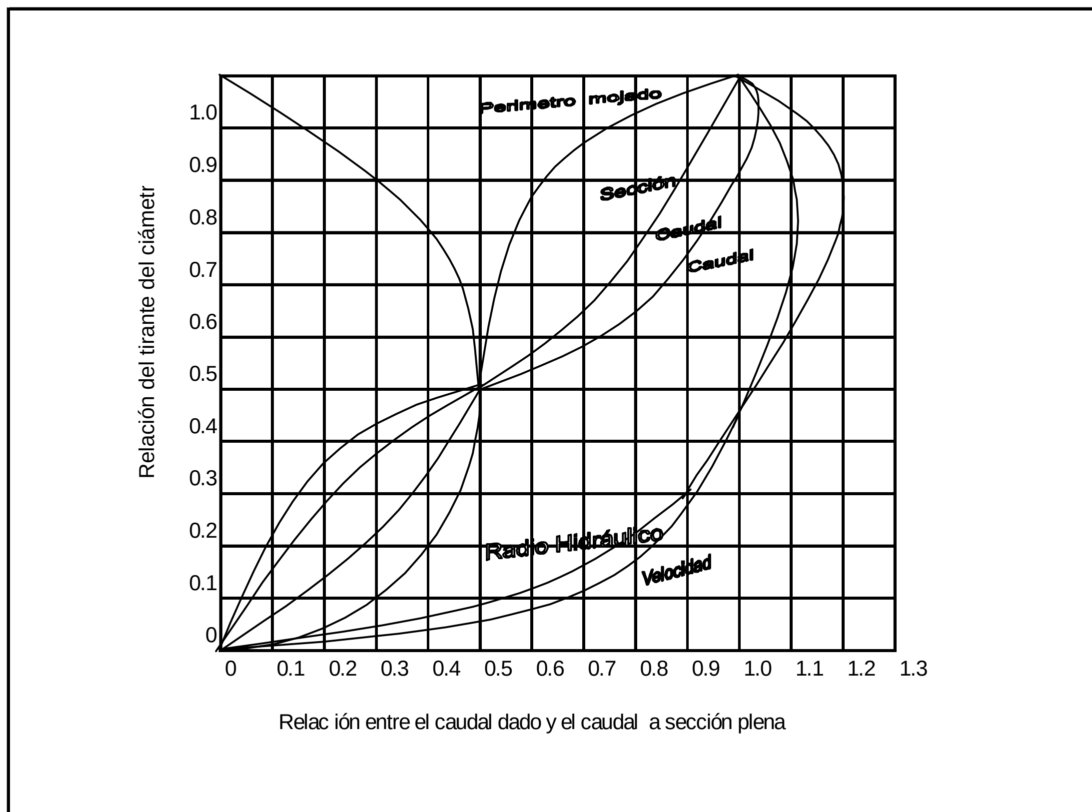
Donde:

A = Área transversal del flujo, en m².

P_m = Perímetro mojado, en m.

En la lámina 9 se presentan las relaciones hidráulicas y geométricas para el cálculo de la red de alcantarillado usando secciones circulares.

Lámina 9. Elementos hidráulicos de la sección circular.



El coeficiente "n" representa las características internas de la superficie de la tubería, su valor depende del tipo de material, calidad del acabado y el estado de la tubería, en la tabla 12 se dan los valores del coeficiente "n" para ser usados en la fórmula de Manning (ref. 10).

Tabla 12. Coeficientes de fricción (n) para usarse en la ecuación de Manning.

MATERIAL	n
- PVC y polietileno de alta densidad	0.009
- Asbesto-cemento	0.010
- Fierro fundido nuevo	0.013
- Fierro fundido usado	0.017
- Concreto liso	0.012
- Concreto áspero	0.016
- Concreto presforzado	0.012
- Concreto con buen acabado	0.014
- Mampostería con mortero de cemento	0.020
- Acero soldado con revestimiento interior a base de epoxy	0.011
- Acero sin revestimiento	0.014
- Acero galvanizado nuevo o usado	0.014

También, se podrán utilizar las ecuaciones 36 a 40 para el cálculo de los elementos geométricos, en tuberías que trabajan parcialmente llenas.

$$\theta = 2Cos^{-1}(1 - d/r) \qquad (36)$$

$$d = r(1 - Cos\,\theta/2) \qquad (37)$$

$$P_m = \pi D\theta / 360 \qquad (38)$$

$$r_h = \frac{r}{2}\left(1 - \frac{360Sen\theta}{2\pi\theta}\right) \qquad (39)$$

$$A = r^2\left(\frac{\pi\theta}{360} - \frac{Sen\theta}{2}\right) \qquad (40)$$

Donde:

d = Tirante hidráulico, m.

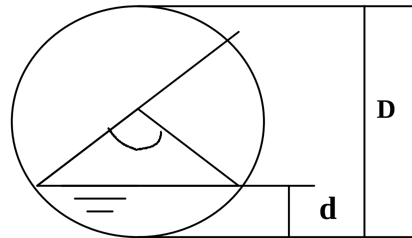
D = Diámetro interior del tubo, m.

A = Área de la sección transversal del flujo, m².

P_m = Perímetro mojado, m.

r_h = Radio hidráulico, m.

θ = Angulo en grados.



3.5 Zanjas para instalación de tuberías

3.5.1 Ancho de las zanjas

Todas las tuberías se instalarán en "condiciones de zanja" de paredes verticales, como se indica en el inciso 2.9.1.

3.5.2 Profundidad de zanjas

La profundidad de instalación de los conductos queda definida por:

- La topografía
- El trazo
- Los colchones mínimos
- Las velocidades máxima y mínima
- Las pendientes del proyecto
- La existencia de conductos de otros servicios
- Las descargas domiciliarias
- La economía de las excavaciones
- La resistencia de las tuberías a cargas exteriores

Las profundidades a las cuales se instalen las tuberías deben estar comprendidas dentro del ámbito de la mínima y máxima.

a) Profundidad mínima.- La profundidad mínima la rigen dos factores:

- Evitar rupturas del conducto ocasionadas por cargas vivas, mediante un colchón mínimo que es función del diámetro del tubo como se presenta en la tabla 13. Los colchones mínimos indicados podrán modificarse en casos especiales previo análisis particular y justificación en cada caso. Los principales factores que intervienen para modificar el colchón son: material de tubería, tipo de terreno y las cargas vivas probables.

- Permitir la correcta conexión de las descargas domiciliarias al alcantarillado municipal, con la observación de que el albañal exterior, tendrá como mínimo una pendiente geométrica de 1 % y que el registro interior más próximo al paramento del predio, tenga una profundidad mínima de 60 cm.

Tabla 13. Colchón mínimo

DIÁMETRO NOMINAL DEL TUBO (cm)	COLCHON MINIMO (m)
Hasta 45	0.9
Mayor de 45 y 122	1.0
Mayor de 122 y 183	1.3
Mayores de 183	1.5

(b) Profundidad máxima

- La profundidad máxima será aquella que no ofrezca dificultades constructivas mayores durante la excavación, de acuerdo con la estabilidad del terreno en que quedará alojado el conducto y variará en función de las características particulares de la resistencia a la compresión o rigidez de las tuberías, haciendo el análisis respectivo en el que se tomará en cuenta el peso volumétrico del material de relleno, las posibles cargas vivas y el factor de carga proporcionado por la plantilla a usar.

- En el caso de atarjeas se debe determinar con un estudio económico comparativo entre el costo de instalación del conducto principal con sus albañales correspondientes, y el de la atarjea o atarjeas laterales, incluyendo los albañales respectivos; no obstante, la experiencia ha demostrado que entre 3.00 y 4.00 m de profundidad, el conducto principal puede recibir directamente los albañales de las descargas y que a profundidades mayores, resulta más económico el empleo de atarjeas laterales.

3.5.3 Plantillas

Deberá colocarse en el fondo de las zanjas en que se instalen las tuberías una plantilla que ofrezca la consistencia necesaria para mantenerlas en su posición en forma estable, o cuando la excavación se efectúe en roca que no pueda afinarse en grado tal que la tubería tenga asiento correcto en toda su longitud, esta plantilla puede ser de los tipos o clases que a continuación se detallan.

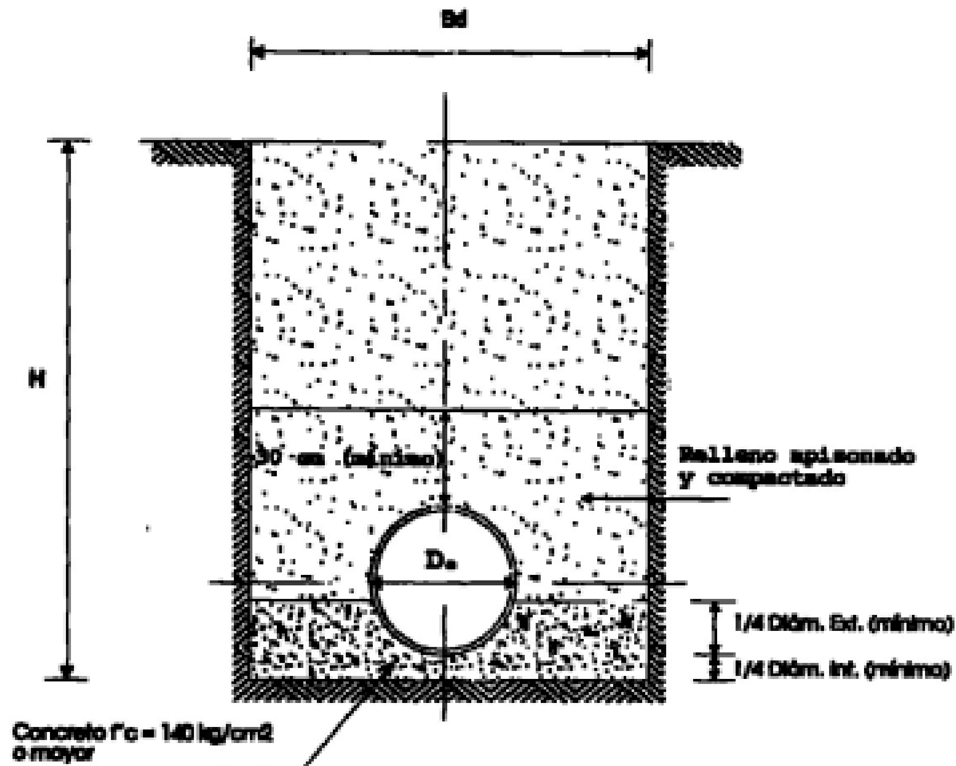
Plantilla Clase "A "

En este método de encamado, la parte exterior e inferior de la tubería debe apoyarse en concreto simple, cuyo espesor mínimo en la parte más baja del tubo, debe ser de un cuarto del diámetro interior de la tubería. El concreto se extiende hacia arriba, por ambos lados de la tubería, hasta una altura que puede ser mayor que el diámetro exterior pero no menor de un cuarto de éste.

Se clasifica también como clase "A" a la cama de arena húmeda compactada, ya que produce efectos comparables al de concreto simple.

El factor de carga para efectuar su revisión estructural es de 2.25.

PLANTILLA CLASE "A"



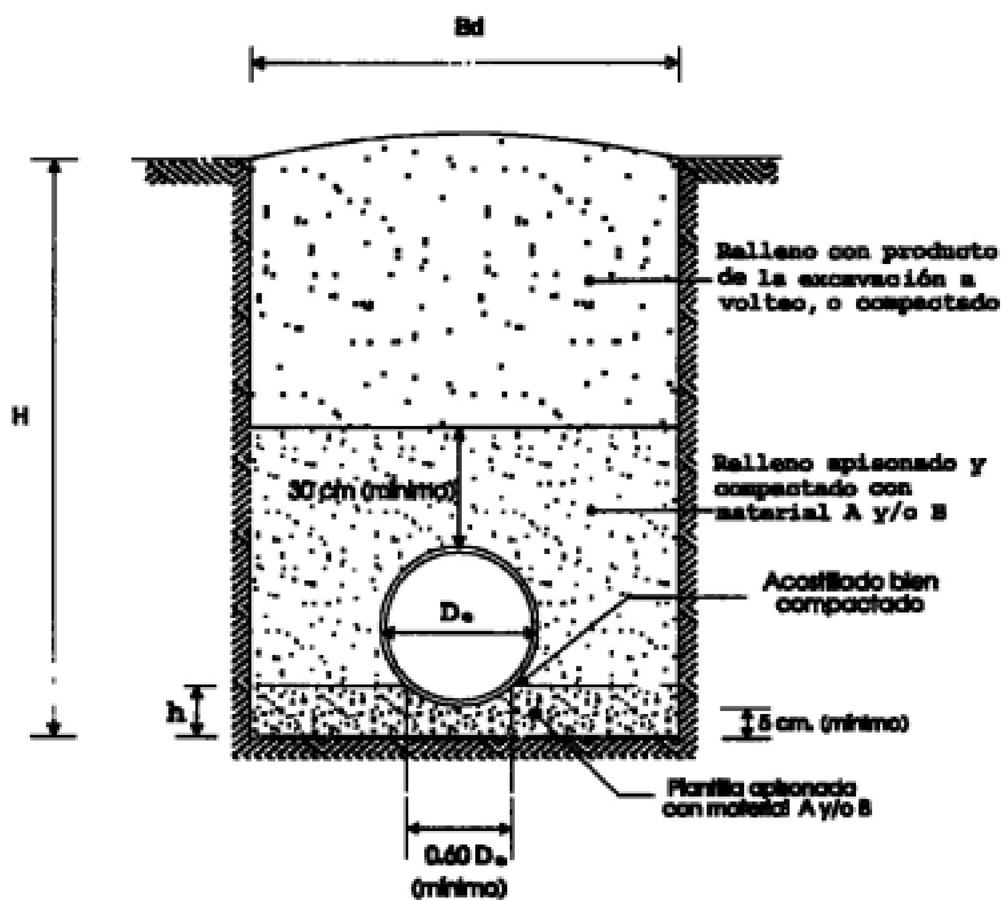
Plantilla Clase "B"

En este tipo de encamado la tubería se apoya en un piso de material fino (tipo A y/o B), colocado sobre el fondo de la zanja, al cual se le ha dado previamente la forma cóncava adecuada para recibir la parte inferior de la tubería, en un ancho de cuando menos 60% de su diámetro exterior. El espesor mínimo sobre el eje vertical de la tubería será de 5 cm. El resto de la tubería deberá de ser cubierto de acuerdo con el criterio establecido en el inciso 2.9.2 de agua potable.

Este tipo de encamado se usará en el tendido de todas las tuberías, salvo los casos en que se requiera usar una del tipo A (especial). Los espesores (h) de plantilla clase "B" se presentan en la tabla 10 para diferentes diámetros.

El factor de carga para efectuar su revisión estructural es de

PLANTILLA CLASE “B"



SEGUNDA PARTE:
GUIAS, AYUDAS DE DISEÑO Y PROCEDIMIENTOS

1. DATOS NECESARIOS

En la determinación de los datos básicos, para diseño de sistemas de agua potable y alcantarillado de una localidad, es conveniente obtener previamente al cálculo la mayor cantidad de la siguiente información:

a) Población actual y de los tres censos anteriores (mínimo).
b) Número de habitantes por vivienda (densidad de población), de la localidad en estudio.
c) Población por estrato socioeconómico.
d) Tipo de vivienda y su distribución en la localidad.
e) Plano de la localidad actualizado.
f) Plan de desarrollo urbano en la localidad (última versión).
g) Registro de usuarios de la Comisión Federal de Electricidad o Compañía de Luz, por tipo de usuario y cobertura del servicio.
h) Padrón de usuario del Organismo Operador, por tipo de usuario y cobertura del servicio.
i) Registro de catastro municipal, por tipo y uso de construcción.
j) Facturación del padrón de usuarios del organismo operador incluyendo volúmenes consumidos y volúmenes no facturados por tipo de usuario.
k) Variación de temperatura anual.
l) Las costumbres de uso del agua en la población.
m) Material de tuberías de las redes de agua potable y alcantarillado.
n) Tipo de suelo en donde se instalará la tubería.
o) Pérdidas de agua de localidades similares.
p) Plan maestro de la localidad o estudio de factibilidad.
q) Planos de las redes de agua potable y alcantarillado.

Los datos anteriores se pueden obtener de diversas fuentes, tales como proveedores de equipo, consultores en estudios socioeconómicos, oficina de planificación municipal, escuelas e institutos de educación media, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI), oficinas de catastro estatal y municipal, oficinas de Obras Públicas Municipales, Organismo Operador del sistema de agua potable y alcantarillado de la localidad, Gerencias de la Comisión Nacional del Agua y oficinas de la Comisión Federal de Electricidad, entre otros.

2. PROCEDIMIENTOS

2.1 Períodos de diseño

Los períodos de diseño de las obras y acciones necesarias, para la planificación del desarrollo de los sistemas de agua potable y alcantarillado, se determinan, por un lado, tomando en cuenta que éste es siempre menor que la vida útil de los elementos del sistema; y por otro, considerando que se tendrá que establecer un plan de mantenimiento o sustitución de algún elemento, antes que pensar en la ampliación, mejoramiento o sustitución de todo el sistema.

Los elementos de un sistema de agua potable y alcantarillado se proyectan con una capacidad prevista hasta el período de diseño. Rebasado el período de diseño, la obra continuará funcionando con una eficiencia cada vez menor, hasta agotar su vida útil.

Para definir el período de diseño de una obra o proyecto se recomienda el siguiente procedimiento:

a) Hacer un listado de todas las estructuras, equipos y accesorios más relevantes dentro del funcionamiento y operación del proyecto.

b) Con base en la lista anterior, determinar la vida útil de cada elemento del proyecto, según la tabla 15.

c) Definir el período de diseño de acuerdo a las recomendaciones de la tabla 14 y a la consulta del estudio de factibilidad, que se haya elaborado en la localidad.

Tabla 14. Períodos de diseño para elementos de sistemas de agua potable y alcantarillado

ELEMENTO	PERIODO DE DISEÑO (años)
Fuente: a) Pozo b) Embaise (presa)	 5 hasta 50
Línea de conducción	de 5 a 20
Planta potabilizadora	de 5 a 10
Estación de bombeo	de 5 a 10
Tanque	de 5 a 20
Distribución primaria	de 5 a 20
Distribución Secundaria	a saturación (*)
Red de atarjeas	a saturación (*)
Colector y emisor	de 5 a 20
Planta de tratamiento	de 5 a 10

(*) En el caso de distribución secundaria y red de atarjeas, por condiciones de construcción difícilmente se podrá diferir la inversión.

2.1.1 Vida útil

La vida útil de las obras depende de los siguientes factores:

- Calidad de la construcción y de los materiales utilizados.
- Calidad de los equipos.
- Diseño del sistema.
- Calidad del agua.
- Operación y mantenimiento.

En la selección de la vida útil, es conveniente considerar que generalmente la obra civil tiene una duración superior a la obra electromecánica y de control. Asimismo, las tuberías tienen una vida útil mayor que los equipos, pero no tienen la flexibilidad de éstos, puesto que se encuentran enterradas. Tampoco hay que olvidar que la operación y mantenimiento es preponderante en la duración de los elementos, por lo que la vida útil dependerá de la adecuada aplicación de los programas preventivos correspondientes.

En la tabla 15 se indica la vida útil de algunos elementos de un sistema de agua potable y alcantarillado, considerando una buena operación y mantenimiento, y suelos no agresivos.

Tabla 15. Vida útil de elementos de un sistema de agua potable y alcantarillado.

ELEMENTO	VIDA UTIL (Años)
Pozo:	
a) Obra civil	de 10 a 30
b) Equipo electromecánico	de 8 a 20
Línea de conducción	de 20 a 40
Planta potabilizadora:	
a) Obra civil	40
b) Equipo electromecánico	de 15 a 20
Estación de bombeo:	
a) Obra civil	40
b) Equipo electromecánico	de 8 a 20
Tanque:	
a) Elevado	20
b) Superficial	40
Red de distribución primaria	de 20 a 40
Red de distribución secundaria	de 15 a 30
Red de atarjeas	de 15 a 30
Colector y emisor	de 20 a 40
Planta de tratamiento	
a) Obra civil	40
b) Equipo electromecánico	de 15 a 20

Nota: La vida útil del equipo electromecánico, presenta variaciones muy considerables, principalmente en las partes mecánicas, como son cuerpos de tazones, impulsores, columnas, flechas, portachumaceras y estoperos; la cual se ve disminuida notablemente debido a la calidad del agua (contenido de fierro y manganeso) y a las condiciones de operación como son la velocidad de la bomba, su distribución geométrica en las plantas de bombeo y paros y arranques frecuentes.

2.2 Población actual

La población actual se define por clases socioeconómicas, diferenciándolas en: popular, media y residencial Esta información se presenta en un plano general de la localidad, junto con la delimitación de zonas industriales y comerciales.

La población actual por clase socioeconómica, se refiere a tres datos censales como mínimo, que proporciona el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). Esta información se valida con la que resulta del número de contratos de servicio doméstico y la cobertura de CFE, la densidad de población, y los datos reportados en la oficina de catastro municipal (número de viviendas registradas); para esta labor, es necesario auxiliarse de visitas de reconocimiento en la localidad.

En los casos en que se tenga una población flotante considerablemente grande, como es el de los centros turísticos, deben obtenerse también los datos de infraestructura turística construida, los cuales están disponibles en la Secretaría de Turismo.

2.3 Población de proyecto

De acuerdo con las características socioeconómicas de la población, los planes de desarrollo urbano, así como los datos obtenidos en el inciso anterior, se definen las zonas habitacionales futuras, para cada grupo demográfico.

Los factores básicos del cambio futuro en la población son: el aumento natural (más nacimientos que muertes), y la migración neta (movimiento de las familias hacia adentro y hacia afuera de una área determinada).

Basándose en el crecimiento histórico, las variaciones observadas en las tasas de crecimiento, su característica migratoria y las perspectivas de desarrollo económico de la localidad, se define la población de proyecto en cada clase socioeconómica, anualmente para el periodo de diseño, con los métodos de predicción de población indicados en el inciso 1.1 de la primera parte.

2.4 Proyectos de agua potable

2.4.1 Consumo

Para la determinación de los consumos de agua potable en localidades de la República Mexicana, se pueden presentar en forma general dos casos: a) la localidad en estudio no dispone de estadísticas de consumos de agua, y b) se tienen estadísticas de consumos de agua potable.

a) No existen estadísticas de consumo.

En el caso de no existir estadísticas de consumo de agua potable en la localidad en estudio, se procede con alguno de los dos criterios siguientes:

- El primero, consiste en realizar un medición de volúmenes consumidos por muestras de usuarios, seleccionados aleatoriamente en la localidad, que incluyan zonas habitacionales de cada una de las clases socioeconómicas, comerciales, industriales y de servicio público. El valor numérico de la muestra es de 30 usuarios mínimo por clase socioeconómica, para el servicio doméstico (ref. 3), y en el caso de los servicios restantes, se establecerá una muestra de industrias, comercios o lugares públicos, representativos de la actividad económica de la ciudad en estudio. La aplicación de este criterio implica disponibilidad de recursos humanos, de tiempo y económicos.

- El segundo determina los consumos con base en las tablas 16 a 22, que son valores obtenidos de mediciones estadísticas, registradas en la bibliografía técnica. El consumo doméstico se calcula multiplicando los datos de consumo per cápita de la tabla 16, por el número de habitantes de cada clase socioeconómica. El clima de la localidad en estudio se define en función de la temperatura media anual, como aparece en la tabla 17 (ref. 3). El consumo comercial se determina aplicando los consumos típicos de la tabla 18. El agua para el consumo industrial está en función del número y tipo de industrias que existan en la localidad, en las tablas 19, 20 y 20a, se presentan los consumos mínimos de hoteles y algunos tipos de industrias. El consumo para usos públicos se obtiene utilizando la tabla 21.

Tabla 16. Consumos domésticos *per cápita* (ref. 3).

CLIMA	CONSUMO POR CLASE SOCIOECONÓMICA (l/hab/día)		
	RESIDENCIAL	MEDIA	POPULAR
CALIDO	400	230	185
SEMICALIDO	300	205	130
TEMPLADO	250	195	100

NOTAS:
Para los casos de climas semifrío se consideran los mismos valores que para el clima templado
El clima se selecciona en función de la temperatura media anual (Tabla 17.)

Tabla 17. Clasificación de climas por su temperatura (ref. 3).

TEMPERATURA MEDIA ANUAL: (°C)	TIPO DE CLIMA
Mayor que 22	CALIDO
De 18 a 22	SEMICALIDO
De 12 a 17.9	TEMPLADO
De 5 a 11.9	SEMIFRIO
Menor que 5	FRIO

Tabla 18. Consumo mínimo en comercios (ref. 13).		
TIPO DE INSTALACIÓN	CONSUMO DE AGUA	
Oficinas (cualquier tipo)	20 l/m²/día	(a)
Locales comerciales	6 l/m²/día	(a)
Mercados	100 l/local/día	
Baños públicos	300 l/bañista/regadera/día	(b)
Lavanderías de autoservicio	40 l/kilo de ropa seca	
Clubes deportivos y servicios privados	150 l/asistente/día	(a, b)
Cines y teatros	6 l/asistente/día	(b)

Tabla 19. Consumo en horeles		
Clasificación	Consumos en hoteles (l/cuarto/día)	
	Zona turística	Zona urbana
Gran turismo	2000	1000
4 y 5 estrellas	1500	750
1 a 3 estrellas	1000	400

Tabla 20. Consumo de servicio para industrias (ref. 13).		
TIPO DE INSTALACIÓN	CONSUMO DE AGUA (l/trabajador/jornada)	
- Industrias donde se manipulen materiales y sustancias que ocasionen manifiesto desaseo.	100	(a)
- Otras industrias	30	(a)

Nota: El consumo para el proceso se obtiene para cada caso particular.

Tabla 20a. Consumos para producción de algunos tipos de industria (ref. 7).	
INDUSTRIA	RANGO DE CONSUMO (m³/día)
Azucarera	4.5 - 6.5
Química (c)	5.0 - 25.0
Papel y celulosa (d)	40.0 - 70.0
Bebidas (e)	6.0 - 17.0
Textil	62.0 - 97.0
Siderúrgica	5.0 - 9.0
Alimentos (f)	4.0 - 5.0

Notas: a) Variable de acuerdo al producto.
b) Se indican sólo los índices de celulosa.
c) Se tomó como representativa la cerveza.
d) Se tomó como representativos los alimentos lácteos.

Tabla 21. Consumo para usos públicos (ref. 13).	
TIPO DE INSTALACION	CONSUMO DÉ AGUA
SALUD: Hospitales, Clínicas y Centros de salud. Orfanatorios y asilos	 800 l/cama/día (a, b) 300 l/huésped/día (a)
EDUCACION Y CULTURA: Educación elemental Educación media y superior	 20 l/alumno/turno (a, b) 25 l/alumnolturno (a, b)
RECREACION: Alimentos y bebidas Entretenimiento (teatros públicos) Recreación social (deportivos municipales) Deportes al aire libre, con baño y vestidores. Estadios	 12 l/comida (a, b) 6 l/asiento/día (a, b) 25 l/asistente/día (a) 150 l/asistente/día (a) 10 l/asiento/día (a)
SEGURIDAD: Cuarteles Reclusorios	 150 l/persona/día (a) 150 l/interno/día (a)
COMUNICACIONES Y TRANSPORTE: Estaciones de transporte Estacionamientos	 10 l/pasajero/día 2 l/m²/día
ESPACIOS ABIERTOS: Jardines y parques	 5 l/m²/día

Nota: a) Las necesidades de riego se considerán por separado a razón de 5 l/m²/día.
b) Las necesidades generadas por empleados o trabajadores se considerán por separado a razón de 100 l/trabajador/día.

b) Existen estadísticas de consumo.

Para este caso, primero se ordena la información de volúmenes consumidos en períodos mensuales por usuarios totales registrados, usuarios con servicio medido,, usuarios de zona socioeconómica, usuarios comerciales, industriales y públicos; en el caso de no tener la información, se recomienda realizar una encuesta para complementarla.

En cualquiera de los dos casos planteados anteriormente, se debe calcular el consumo de agua para el combate de incendios, que se determina de acuerdo con lo indicado en la tabla 22. Estos valores son el resultado de la investigación de consumos de agua contra incendio, realizada por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, en los cuerpos de bomberos de algunas ciudades del país.

Tabla 22. Consumo de agua contra incendio					
TAMAÑO DE LA LOCALIDAD (habitantes)	HIDRANTES SIMULTANEOS	GASTO Por Hidrante (l/s)	GASTO TOTAL (l/s)	CONSUMO PER CÁPITA l/hab/siniestro	VOLUMEN TOTAL (m^3)
10,000 - 50,000	2	15.8	31.6	4	40-200
50,001-200,000	2	31.5	63.0	4	200-800
más de 200000	3	31.5	94.5	4	más de 800

Notas:

- Presión mínima en la toma (hidrante) = 5.0 m. c. a.
- Diámetro mínimo de la red para colocar el hidrante = 152 mm (6").
- Localización de hidrantes para cálculo hidráulico; uno en la zona comercial, uno en el punto más alejado de la alimentación y uno en la zona industrial.
- Distribución de hidrantes en la red = separación máxima entre hidrantes 300 m, cubriendo toda la zona centro, zonas industriales y hoteles y de 1000 en áreas restantes.
- Cuando el diámetro de la línea de alimentación sea igual o menor de 4", en todos los casos deberán instalarse cajas de inundación (pozos contra incendio).
- En poblaciones menores de 10,000 habitantes no se considera el sistema contra incendio.

El consumo contra incendio se obtiene de multiplicar los datos de consumo per cápita (l/hab/siniestro) de la tabla 22, por el número de habitantes y dividirlo entre 1000, con lo que se tendrá un volumen por siniestro (m^3/siniestro), este volumen se debe multiplicar por el número de siniestros al año (este dato se debe consultar en el cuerpo de bomberos de la localidad), y así obtener el consumo en m^3/día.

Una vez determinado cada uno de los consumos por tipo de servicio, se calcula el consumo total, sumando todos los valores correspondientes a consumos domésticos y no domésticos, por clase y por tipo, de acuerdo a la expresión 41.

$$C_T = C_{dr} + C_{dm} + C_{dp} + C_c + C_i + C_p + C_e \qquad (41)$$

donde:

C_T = consumo diario total, en m^3.

C_{dr} = consumo diario doméstico residencial, en m^3.

C_{dm} = consumo diario doméstico clase media, en m^3.

C_{dp} = consumo diario doméstico clase popular, en m^3.

C_C = consumo diario comercial, en m^3.

C_i = consumo diario industrial, en m^3.

C_p = consumo diario público, en m^3.

C_e = consumo diario contra incendio, en m^3.

2.4.2 Demanda actual

La demanda actual de agua, se calcula sumando el consumo diario de los diferentes tipos de usuarios: domésticos, comercial, industrial, usos públicos y contra incendio; más las pérdidas de agua totales en el sistema (calculadas como se indica en 2.2.1 de la primera parte).

2.4.3 Predicción de la demanda

El cálculo de la demanda futura se presentará por año (en forma de tabla, indicando las acciones consideradas, en cada tipo de servicio y en las pérdidas de agua) y su predicción se realizará para los períodos de diseño de los elementos del sistema de agua potable.

La predicción de la demanda se realiza en función de las proyecciones de población, cobertura del servicio esperada, crecimiento industrial, comercial y de servicios públicos, como se muestra en la tabla 23.

El cálculo de la demanda se hace, multiplicando los consumos unitarios correspondientes a cada tipo de servicio: por el número de habitantes, número de comercios, cantidad de producción de las industrias y número de servicios, esperados en la tabla 23; sumando el valor de la pérdida diaria de agua, año tras año.

Tabla 23. Datos base para proyección de demanda.				
TIPO DE SERVICIO	PÉRIODO DE DISEÑO			
	AÑO IÑICIAL (i)	AÑO (i+1)	...	AÑO FINAL (n)
Doméstico: - Residencial - Media - Popular	 No. habitantes No. habitantes No. habitantes	 No. habitantes No. habitantes No. habitantes		 No. habitantes No. habitantes No. habitantes
Comercial: - Oficinas - Mercados - Baños públicos - Lavanderías de - autoservicio	 No. de m² No. de locales No. de bañistas Kg. de ropa	 No. de m² No. de locales No. de bañistas Kg. de ropa		 No. de m² No. de locales No. de bañistas Kg. de ropa
Industrial: - Manejen sustancias que ocasionan desaseo - Otras industrias	No. trabajadores unid. de produc.	No. trabajadores Unid, de produc.	... ...	No. trabajadores unid. de produc.
Hotelero: - Hoteles y moteles	Cuartos	Cuartos	...	Cuartos
Público: - Hospitales - Escuelas de educación elemental - Escuelas de educación media - Riego de jardines	 No. camas No. estudiantes No. estudiantes m²	 No. camas No. estudiantes No. estudiantes m²		 No. camas No. estudiantes No. estudiantes m²
* Pérdidas de agua	% de pérdidas	% de pérdidas	...	% de pérdidas

Entonces, la demanda para cada año será el resultado de la suma de los correspondientes consumos anteriores, más las pérdidas de agua potable, en unidades de m³ por día.

2.4.4 Dotación

La dotación es un parámetro que sirve para determinar los gastos, que deberán considerarse en el diseño de los elementos del sistema. Se determina para cada año dentro del período de diseño, de la manera siguiente: la demanda (en m^3/día) se divide entre el número total de habitantes de la zona en estudio en el año considerado y se multiplica por 1000 para obtener l/hab/día.

Para efectos de diseño de la red de distribución (libro II, 1ª sección, tema 4 “Redes de distribución"), la dotación deberá corresponder únicamente al valor obtenido de dividir la demanda doméstica, más la comercial, entre el número de habitantes de cada zona, y las demandas industriales y de servicios públicos se asignarán de manera concentrada en cada tramo de la red, conforme estén conectadas y dependiendo del volumen diario demandado. Esto implica que estas últimas demandas (en m³/día) deberán convertirse en cada caso a unidades de litros por segundo.

2.4.5 Gastos de diseño.

Los gastos medio diario, máximo diario y máximo horario se determinan con base en la dotación, aplicando las ecuaciones 19, 20 y 21 respectivamente. La utilización de los coeficientes de variación, especificados en el inciso 2.4 de la primera parte, indican que el tamaño de los elementos del sistema, será tal que permita satisfacer las variaciones de los gastos diarios y horarios (según la obra de que se trate, tabla 4), durante su funcionamiento, hasta alcanzar el periodo de diseño.

2.4.6 Variables complementarias

Las variables, tales como coeficientes de fricción, velocidades máximas y mínimas, coeficientes de regularización y geometría de zanjas para instalar tuberías, se determinan utilizando los criterios expuestos en la primera parte. Los valores serán utilizados en los diseños de las estructuras del sistema.

2.5 Proyectos de alcantarillado sanitario

2.5.1 Aportación de aguas residuales

El valor de la aportación se calcula multiplicando el dato de la dotación obtenido como se indica en el inciso 2.4.4 (en l/hab/día), por 0.75 (ver inciso 3.1 primera parte), con lo que se obtiene el volumen por habitante por día, que se vierte a la red de alcantarillado.

Es necesario tener en mente, que en algunas localidades existen descargas concentradas considerables y con características especiales, como es el caso del industrias con fuente de abastecimiento propia, por lo que se deberán evaluar estos volúmenes para adicionarlos o no a la aportación anterior.

Es recomendable determinar los volúmenes de aportación con base en un muestreo de, campo, seleccionando a grupos de usuarios y realizando mediciones de descarga y consumo, haciendo uso de la metodología desarrollada por el IMTA (ref. 12). La CNA, está llevando a cabo mediciones de aportaciones en algunas ciudades del país, una vez concluido este estudio, se actualizará este documento.

Actualmente, el diseño de redes de alcantarillado considera la construcción de sistemas herméticos en las tuberías, en sus juntas, pozos de visita, descargas domiciliarias, uniones pozos de visita-atarjea y colector-cárcamo de bombeo (ref. 14); bajo estas condiciones, no se considera el volumen de agua freática por infiltración o por exfiltración.

2.5.2. Gastos de diseño

El gasto medio de aguas residuales se calcula con la ecuación 29 (inciso 3.2.1 de la primera parte), en función de los habitantes servidos y la aportación determinada para cada zona en estudio. En zonas industriales y comerciales, el cálculo se hace con base en las demandas del desarrollo correspondiente, multiplicadas por el coeficiente de aportación (0.75) y transformadas a l/s.

El valor del gasto mínimo de aguas residuales se calcula con la ecuación 30, en ningún caso se permite tener valores inferiores a lo especificado en la tabla 9.

El cálculo del gasto máximo instantáneo (Q_{Mins}) se hace con la ecuación 32. Para determinar este gasto es necesario conocer el gasto medio y el valor del coeficiente de variación (ecuación 31). En zonas industriales y comerciales el coeficiente de variación (M). se puede calcular utilizando una población equivalente, en función de la dotación media de la zona.

El gasto máximo extraordinario (Q_{Mext}) es el resultado de multiplicar el gasto máximo instantáneo por un coeficiente de seguridad (CS), que garantice el buen funcionamiento del sistema, en caso de presentarse aportaciones no previstas, debido a conexiones al sistema de zonas no consideradas, a las aportaciones de aguas pluviales de las azoteas y patios de las construcciones, o a las causadas por infiltraciones de aguas freáticas a las redes cuando estas no sean herméticas.

2.5.3 Variables complementarias

Las variables, tales como coeficientes de fricción, velocidades permisibles, pendientes, diámetros y geometría de zanjas para instalar tuberías, se determinan utilizando los criterios expuestos en la primera parte.

Para determinar el tipo de material de tubería más adecuado para el proyecto, se hará un análisis cualitativo y cuantitativo de los conceptos que intervienen en su instalación, operación y mantenimiento, en donde se incluyen costos de adquisición, instalación, mantenimiento y fletes, así como disponibilidad de proveedores en la región, tiempo de entrega de materiales y accesorios, durabilidad de material, facilidad de reparación y acoplamiento con otros materiales, eligiendo al que ofrezca las mejores condiciones técnico - económicas.

3. EJEMPLOS DE APLICACION

Para ilustrar los procedimientos indicados anteriormente, se presentan ejemplos, en la determinación de los datos básicos, utilizados en el diseño de un sistema de agua potable y alcantarillado.

NOTA: Las observaciones, comentarios, conclusiones y recomendaciones expuesto en el ejemplo, son exclusivamente con fines didácticos.

3.1 Determinación de parámetros para realizar estudios de agua Potable y alcantarillado.

En la elaboración del estudio para el mejoramiento de los servicios de agua potable y alcantarillado de una ciudad, es necesario obtener un diagnóstico de dichos servicios, mediante la determinación de los siguientes parámetros:

a. Población de proyecto, por clase socioeconómica.

b. Consumos de agua por tipo de servicio.

c. Demanda de agua actual y futura.

d. Dotación.

e. Gastos

f. Capacidad de regularización.

g. Aportación de aguas residuales.

El cálculo de los parámetros mencionados, se realiza partiendo de los datos que se presentan en las tablas 24 a 28, los cuales fueron recopilados en diversas oficinas estatales y de la localidad; considerando un horizonte de planeación de 20 años y el año actual es 1990.

Tabla 24. Población histórica de la ciudad en estudio.

AÑO	NUMERO DE HABIT ANTES
1930	29,266
1940	32,377
1950	49,445
1960	83,768
1970	116,651
1980	1,70,138
1990	261,952

* Fuente: Censos Generales de Población y Vivienda INEGI.

Tabla 25. Situación del servicio de agua potable de la ciudad en estudio					
TIPO DE SERVICIO	NUMERO DE TOMAS	PORCENTAJE DE TOMAS	TÓMAS SIN MEDIDOR	TOMAS CON MEDIDOR	CONSUMO ANUAL MEDIDO (m^3)
Doméstico	47,336	95.01	40,795	6,541	1,824,470
Comercial	1,807	3.63	131	1,676	467,000
Industrial(*)	114	0.23	100	14	7,745
Público	564	1.13	74	490	136,000
TOTAL	49,821	100.00	41,100	8,721	2,435,215

(*) Incluye hoteles.
Fuente : Estadísticas de consumo del organismo operador.

Tabla 26. Industrias existentes en la ciudad			
TIPO DE INDUSTRIA	NÚMERO DE ESTABLECIMIENTOS	NUMERO DE TRABAJADORES	PRODUCCIÓN DIARIA
1.Curtidurías	40	1300	43 m^2
2.Envasadoras de refresco	3	195	27 m^3
3.Fábricas de conservas	20	420	50 ton.
4.Fábrica de papel	1	50	7 ton.
5.Planta algodonera	1	80	4 ton.
6.Fábricas de ropa	14	400	3 ton.
7.Fábricas de tubos de acero	2	350	42 ton.
8.Lavanderías industriales	14	56	2 ton.
9. Elaboración de pan	2	70	10 ton.
10. Industrias y productos de madera.	17	100	5 ton.

Fuente: Estudio socioeconómico de la localidad.

Tabla 27. Datos de la ciudad en estudio en el año 1990.

- Porcentaje de clase socioeconómica: Residencial 2.6%
  Media 23.2%
  Popular 74.2%

- Temperatura me 20°C
- Densidad de población 5.3 hab/vivienda
- Cobertura del servicio de agua potable 95%
- Cobertura del servicio de energía eléctrica 100%
- Acometidas eléctricas de CFE (domésticas) 49,821
- Tasa de crecimiento actual (Plan Director de Desarrollo Urbano) periodo de 1980-1990 4.41% anual
- Tomas domiciliarias domésticas (organismo operador) 47,336

- Zonificación de la ciudad:

  - Comerciales.- dos tipos: a) Los que están en centros comerciales y los distribuidos en zonas habitacionales: se prevé un crecimiento anual del 4% hasta el año 2000, después disminuirá a una tasa del 2% en los siguientes años.
  - ndustrias.- Ubicadas en zonas donde no interfieren con el áreas habitacionales, localizándose una al oriente y otra, al sureste de la ciudad; se considera un crecimiento anual del 2.5% hasta el año 2000,después cambiará a 1.2%, en los años subsecuentes.
  - Usos públicos.- Se prevé aumentará en un 2% anual hasta el año 2000, después disminuirá a una tasa del 1.5 % en los siguientes años.

Fuente: Documentos de organismos públicos municipales y estatales y Plan de Desarrollo Urbano.

Tabla 28. Hoteles enla ciudad

CLASIFICACION	ESTABLECIMIENTOS	NUMERO DE CUARTOS
Cuatro estrellas	1	100
Dos estrellas	5	233

Fuente: Oficina de turismo de la localidad.

SOLUCION DEL EJEMPLO

a. Población de proyecto

Para obtener la población para el año 2010 (considerando 20 años de periodo de diseño), se aplican los métodos descritos en el inciso 1.1 de la primera parte y los datos de los censos de la tabla 24, como se indica a continuación.

a. 1 Método de mínimos cuadrados

Se calculan las sumatorias como se indica en la tabla 29.

Tabla 29. Variables y sumatorias para uso de ecuaciones de proyección de población

AÑO (t)	NUMÉRO DE HABITANTES (P)	t^2 (miles)	P^2 (miles)	t.P	L_nP	L_n t	$(L_nt)^2$	$(L_nP)^2$	$(L_nt)\bullet(L_nP)$
1930	29,266	3,724	856499	56483380	10.28	7,57	57.23	105.76	77.80
1940	32,377	3,764	1048270	62811380	10.39	7.57	57.31	107.85	78.62
1950	49,445	3,803	2444808	96417750	10.81	7.58	57.39	116.83	81.88
1960	83,768	3,842	7017078	$1.64x10^{08}$	11.34	7.58	57.47	128.50	85.93
1970	116,651	3,881	13607456	$2.30x10^{08}$	11.67	7.59	57.54	136.12	88.50
1980	170,138	3,920	28946939	$3.37x10^{08}$	12.04	7.59	57.62	145.07	91.43
1990	261,952	3,960	68618850	$5.21x10^{O8}$	12.48	7.	57.70	155.65	94.77
SUMA = 13720	743.597	26864	$1.23x10^{06}$	$1.47x10^{08}$	79.00	53.06	402.26	895.78	598.93

Con estos valores y la aplicación de las ecuaciones 2 a la 17 se obtienen los coeficientes "a" y "b", y el coeficiente de correlación "r" , así como las ecuaciones de ajuste mostradas en la tabla: 30.

Tabla 30. Ecuaciones de ajuste.

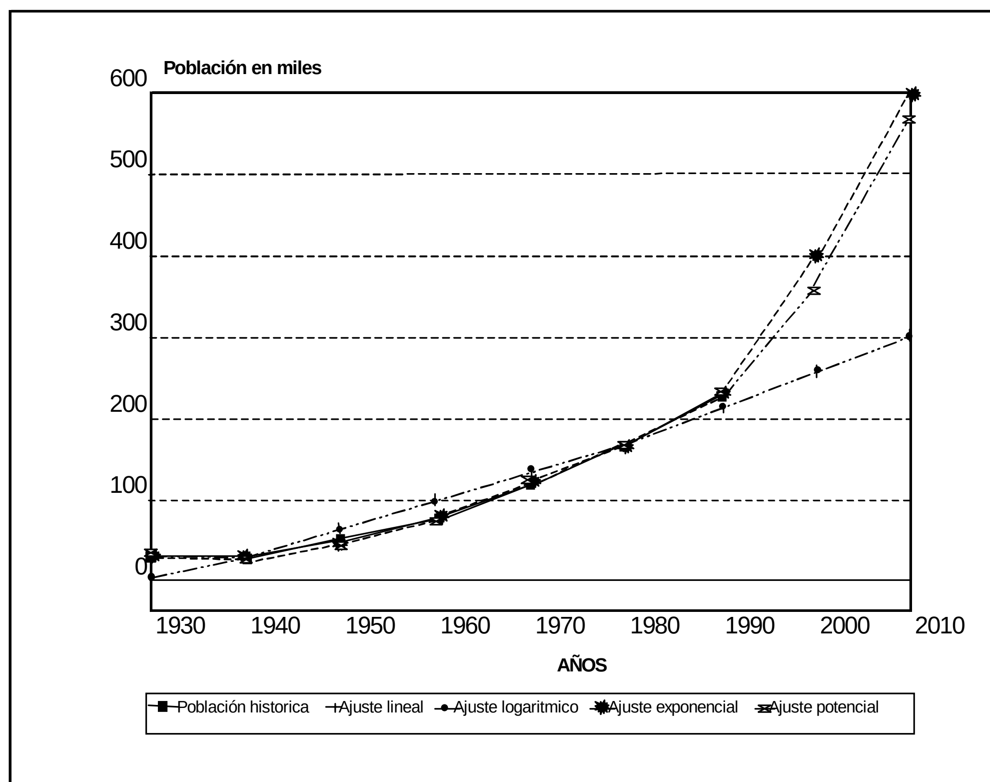
TIPO DÉ AJUSTE	COEFICIENTE A	COEFICIENTE b	FACTOR r	ECUACIÓN DE AJUSTE
Lineal	-7179273.86	3717.09	0.94	P= -7179273.86 + 3717.09 (t)
Exponencial	$1 .641x10^{-28}$	0.0384	1.0	$P = 1.641x10^{-28}e^{(0.0384)t}$
Logarítmico	-55033942	7273807	0.94	P= -55033942 + 7273807 In t
Potencial	$1.58X10^{-243}$	75.23	0.99	$P = 1.5\ 8X10^{-243}\ t^{75.23}$

En la tabla 30 se tiene que el coeficiente de correlación "r" es igual a uno para el ajuste exponencial y 0.99 para el potencia¡, lo que determina que el crecimiento de la población histórica tiende a alguno de estos dos tipos de ajuste.

Las proyecciones de población hacia el año 2010, calculadas con las ecuaciones anteriores, se muestran en la tabla 31 y en la lámina 10.

Tabla 31. Proyección de la población obtenidas con las ecuaciones de ajuste.					
Año	Población histórica	Ajuste lineal	Ajuste logarítmico	Ajuste exponencial	Ajuste potencial
1930	29,266	5,284	5,587	25,181	25,065
1940	32,377	31,886	32,003	36,970	36,978
1950	49,455	69,057	69,400	54,277	54,443
1960	83,768	106,228	106,606	79,686	79,999
1970	116,651	143,399	143,623	116,991	117,321
1980	170,138	180,570	180,453	171,759	171,721
1990	261,952	217,740	217,097	252,166	250,863
2000		254,911	253,557	370,215	365,784
2010		292,082	289,835	543,527	532,348

Lámina 10. Proyección de la Población.



a.2 Método de crecimiento por comparación.

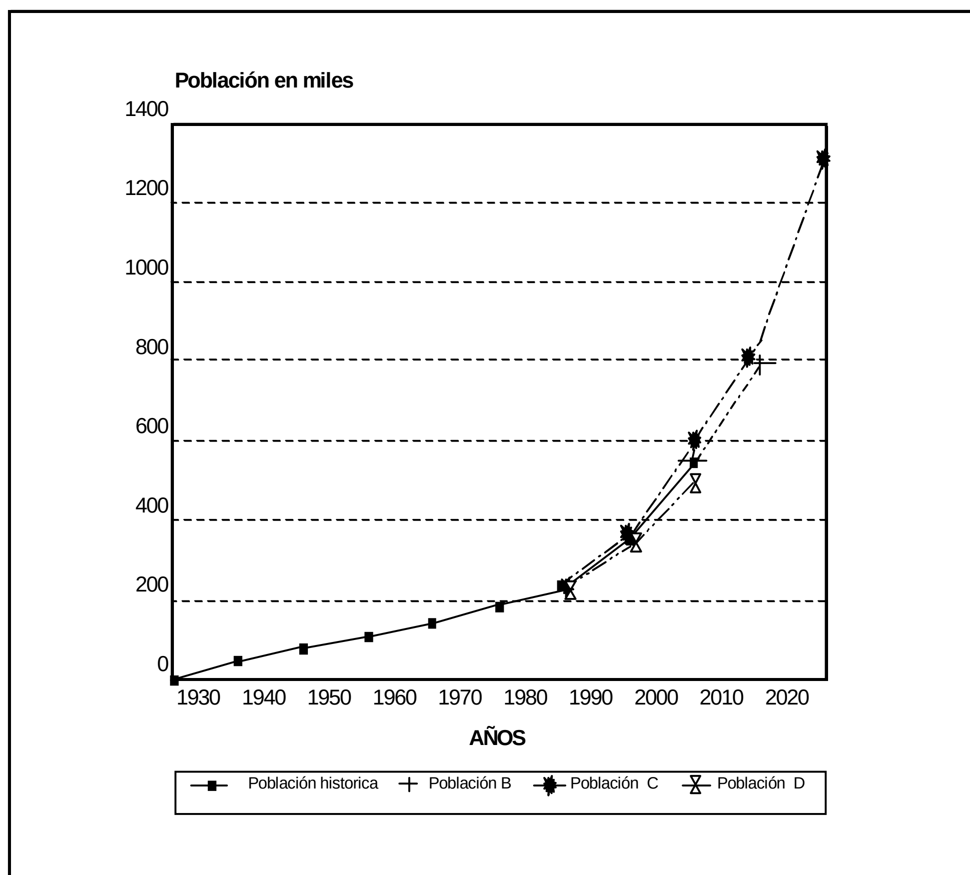
Para aplicar este método se recurrió a los datos censales de 3 ciudades (B, C y D), con poblaciones mayores, que son similares por su proximidad geográfica, actividad económica, clima y costumbres; se determinó la población actual (1990) de la ciudad en estudio; y la distribución de clases socioeconómicas correspondientes. En la tabla 32 se muestran los datos censales de las tres ciudades.

Tabla 32. Datos censales de las ciudades B, C y D.

CIUDAD	AÑO	NUMERO DE HABITANTANTES	TASE DE CRECIMIENTO i(%)	TASE DE CRECIMIENTO PERIODO
B	1960 1970 1980 1990	261,150 389,924 566,179 808,739	4.09 3.80 3.63	1960 a 1970 1970 a 1980 1980 a 1990
C	1950 1960 1970 1980 1990	262,200 406,021 612,669 906,900 1,323,197	4.47 4.20 4.00 3.85	1950 a 1960 1960 a 1970 1970 a 1980 1980 a 1990
D	1970 1980 1990	260,900 371,597 513,138	3.60 3.28	1970 a 1980 1980 a 1990

En la lámina 11 se graficaron los datos de las cuatro ciudades y se muestra la tendencia en el crecimiento de la población.

Lámina 11. Proyección de la población por el método de crecimiento por comparación.



Para verificar los valores actuales, se realizarán cálculos con base en el registro de usuarios de la Comisión Federal de Electricidad y en el padrón de usuarios del Organismo Operador (tabla 27).

Comisión Federal de Electricidad

- Acometidas eléctricas domésticas en 1990. 49,821
- Cobertura del servicio.. 100%
- Densidad de población... 5.3 hab/vivienda

Población estimada.. 49,821 * 5.3 = 264,051 hab.

Organismo Operador

- Número de tomas domiciliarias.. 47,336
- Cobertura del servicio... 95%
- Densidad de población... 5.3 hab/vivienda

Población estimada.. 47,336 * 5.3/0.95 = 264,085 hab.

La población estimada por estos dos métodos es casi la misma y muy aproximada a la del censo. La proyección de la población se realizará usando el resultado de la tendencia de crecimiento exponencial ya que este ajuste describe el comportamiento del crecimiento de la población más adecuadamente (coeficiente de correlación "r" es uno), por lo tanto, la población de proyecto para éste caso en particular es el mostrado en la tabla 33, así como la tasa de crecimiento obtenida con la ecuación 1.

Tabla 33. Tasas de crecimiento.

Año	Población histórica	Ajuste exponencial:	Tasa de crecimiento	
			i (%)	Periodo
1990		261,952	4.41	1980-1990
1995		305,542		
2000	261,952	370,215	3.52	1990-2000
2005		448,578		
2010		543,527	3.91	2000-2010

a.3 Población de proyecto por clase socioeconómica.

En la tabla 27 se tienen los porcentajes de clase socioeconómica, que multiplicados por la población del proyecto (590,993 hab.) dá la población por clase socioeconómica.

Tabla 34. Población por clase socioeconómica

Clase socioeconómica	Porcentaje de clase	Población por clase socioeconómica	
		1990	2010
Residencial	2.6	6,811	14,132
Media	23.2	60,773	126,098
Popular	74.2	194,368	403,297

b. Consumo de agua por tipo de servicio

b.4 Consumo doméstico

Se tiene que de acuerdo con las estadísticas del Organismo Operador mencionadas en la tabla 25, el número de tomas para uso doméstico sin medidor es grande (86.2%), por lo que el consumo doméstico que se da en dicha tabla no es confiable y se precederá a estimarlo como sigue:

La temperatura media anual es de 20° (tabla 27), con esta temperatura el tipo de clima es semicálido (tabla 17).

En la tabla 16 se dan los consumos domésticos per cápita por clima y por clase socioeconómica, para el residencial es de 300 l/hab/día, la clase media es de 205 l/hab/día y el popular es de 130 l/hab/día.

Tabla 35. Consumo doméstico en el año de 1990

Clase socioeconómica	Consumo doméstico per cápita (l/hab/día)	Población por clase socioeconómica	Consumo doméstico (m^3/día)
Residencial	300	6,811	2,043
Media	205	60,773	12,459
Popular	130	194,368	25,268

El consumo doméstico total es la suma de los consumos por clase socioeconómica, que es de 39,770 m^3/día.

Tabla 36. Consumo doméstico para el año 2010			
Clase socioeconómica	Consumo doméstico Per capita (l/hab/día)	Población por clase socioeconómica	Consumo doméstico. (m^3/día)
Residencial	300	14,132	4,240
Media	205	126,098	25,850
Popular	130	403,297	52,429

El consumo doméstico total para el año 2010 es 82,519 m^3/día.

b.2 Consumo comercial

El porcentaje de medición para uso comercial es de 92.7% (tabla 25), por lo que se tomará el consumo de 467,000 m^3/año, transformándolo a m^3/día se tiene que:

El consumo comercial en el año de 1990 es de:

Cc = (467,000 m^3/año) / (365 días * 92.7% de medición) = 1,380 m^3/día

Se prevé un crecimiento del comercio en un 4 % anual durante los primeros 10 años, después disminuirá al 2 % en los siguientes años (tabla 27).

El consumo para el año 2010 será:

$Cc = 1380\ (1.04)^{10}\ (1.02)^{10} = 2490\ m^3$/día.

b. 3 Consumo industrial

Se tiene que el número de tomas para uso industrial sin medidor es grande (87.7%) con respecto al número total de tomas industriales (tabla 25), por lo que el consumo que se dá en dicha tabla no es confiable y se precederá a calcularlo como sigue:

Tabla 37. Consumo industrial de servicio				
TIPO DE INDUSTRIA	NÚMERÓ DE ESTABLECIMIENTOS	NUMÉRO TOTAL DE TRABAJADORES	CONSUMO DE AGUA	
			(l/trab./jornada)	(m³/día_laboral)
1. Curtidurías	40	1,300	100	130
2. Envasadoras de refresco	3	195	100	19.5
3. Fábricas de conservas	20	420	100	42
4. Fábrica de papel	1	50	30	1.5
5. Planta algodonera	1	80	30	2.4
6. Fábricas de ropa	14	400	30	12
7. Fábricas de tubos de acero	2	350	100	35
8. Lavanderías industriales	14	56	100	5.6
9. Elaboración de pan	2	70	100	10
10. Industrias y productos de la madera.	17	100	30	3

Nota: Los consumos de agua por trabajador se obtienen de la tabla 20.
El número total de trabajadores incluye todos los turnos.

La suma es 261 m^3/día-laborable

Si se consideran 6 días laborables a la semana, el número de días por mes será (considerando 30 días):

Número de días laborables al mes = 30 (6)/(7) = 25.7

Número de días laborables al mes se aproximará a 26.

Consumos industriales medios de servicio = 261 m^3/día (26 días) / (30 días)

Consumos industriales medios de servicio = 226.2 m^3/día, se usará 226 m^3/día

Tabla 37a. Consumo industrial de proceso				
TIPO DE INDUSTRIA	NUMERO DÉ ESTABLECIMIENTOS	PRODUCCIÓN DIARIA	CONSUMO DE AGUA	
			(m^3/unidad prod.-día)	(m^3/día)
1.Curtidurías	40	43 m^2	15	645
2.Envasadoras de refresco	3	27m^3	11.5	311
3.Fábricas de conservas	20	50*ton.	4.5(*)	225
4.Fábrica de papel	1	7 ton.	40	280
5.Planta algodonera	1	4 ton.	62(*)	248
6.Fábricas de ropa	14	3 ton.	97	291
7.Fábricas de tubos de acero	2	42 ton.	7.5	315
8.Lavanderías industriales	14	2 ton.	40	80
9. Elaboración de pan				
10. Industrias y productos de la madera.	2	10 ton.	4.5	45
	17	5 ton.	40(*)	200

Nota: Algunos consumos de agua para producción se obtienen de la tabla 20a.
(*) Consumos propiciados por el Organismo operador.

La suma de los consumos industriales de proceso es 2640 m^3/día laborable

Si se consideran 6 días laborables a la semana:

Consumos industriales medios de proceso = 2640 m^3/día (26 días) / (30 días)
Consumos industriales medios de servicio = 2288 m^3 /día

El consumo de agua de los hoteles está considerado como un consumo industrial, en la tabla 19 se tienen los consumos de agua de hoteles por cuarto, para zona urbana.

Tabla 38. Consumo de los hotels			
TIPO DE HOTEL	Número de cuartos	Consumo de agua (l/cuarto/día)	Consumo agua (m^3/día)
- Un hotel de cuatro estrellas	100	750	75
- Cinco hoteles de dos estrellas	233	400	93

El consumo de los hoteles es de 168 m^3/día

El consumo industrial total para el año de 1990 será la suma de los consumos industriales de servicios y de producción más el consumo en los hoteles.

Consumo industrial total = 226 + 2,288 + 168 = 2,682 m^3/día

El crecimiento industrial será de 2.5 % anual hasta el año 2000 y de 1.2 % en los años subsecuentes (tabla 27).

El consumo industrial para el año 2010 será:

$C_i = 2,682 (1.025)^{10} (1.012)^{10} = 3868$ m^3/día

b.4 Consumo Público

El consumo público es de 136,000 m^3/año (tabla 25), se considera confiable ya que el número de tomas con medidor es de 86.9%.

Consumo para usos públicos para el año de 1990

C_p = (136,000 m^3/año) / (365 días * 86.9 % de medición) = 429 m^3/día

Se estima que el consumo para uso público aumentará en 2 % anual hasta el año 2000 y de 1. 5 del 2000 al 2010.

Consumo para usos públicos para el año de 2010

$C_p = 429 (1.02)^{10} (1.015)^{10} = 607$ m^3/día

b.5 Consumo contra incendió

Para el consumo contra incendio se establece un volumen per cápita de 4 l/hab. (tabla 22).

Para el año de 1990 el volumen contra incendio es de:

V_e = 261952 hab (4 l/hab/siniestro) = 1047808 litros/ siniestro = 1048 m^3/siniestro

El departamento de bomberos en la ciudad en estudio, registra un promedio de 20 incendios significativos al año.

El consumo contra incendio para 1990:

Ce = (1048 m^3/siniestro) * (20 siniestros/año) = 20960 m^3/año = 57.4 m^3/día

Se considerarán 58 m^3/día

Para el año 2010 el volumen contra incendio será:

V_e = 543527 hab (4 l/hab/siniestro) = 2174108 litros/siniestro = 2174 m^3/siniestro

Debido a las acciones de protección civil, se considera que el número de incendios significativos no se incrementará.

El consumo contra incendio para 2010:

C_e = (2174 m^3/siniestro) * (20 siniestros/año) = 43482 m^3/año = 119.1 m^3/día

Se considerarán 119 m^3/día

b.6 Consumo total

Para obtener el consumo total del año 1990 se utiliza la ecuación 41.

C_T = 39,770 + 1,380 + 2,682 + 429 + 58

C_T = 44,319 m^3/día

El consumo total para el año 2010 será:

C_T = 82,519 + 2,490 + 3,868 + 607 + 119

C_T = 88,996 m^3/día

c. Demanda de agua actual y futura

c. 1 Demanda actual

Es igual al consumo total más las pérdidas físicas de agua del sistema. Para efectos de diseño a tiempo presente se considera como valor promedio de pérdidas físicas un 30 % del volumen suministrado (inciso 2.2.2 de la primera parte).

$$(\%)\text{Pérdidas} = \frac{(\text{Demanda} - \text{Consumo})}{\text{Demanda}}$$

Despejando la Demanda:

$$\text{Demanda} = \frac{\text{Consumo}}{\left(1 - \frac{(\%)\text{Pérdidas}}{100}\right)}$$

Por lo que la demanda actual es:

Demanda actual (1990) = C_T/O.7 = 44,319 / 0.70

Demanda actual (1990) = 63,313 m^3/día

Las pérdidas actuales (1990) son: (63,313 m^3/día) (.30) =18,994 m^3/día

c. 2 Demanda futura

La determinación del consumo de tipo doméstico al año 2010 se presenta en la tabla 36. Para la proyección de la población se utilizó el ajuste exponencial y en la obtención de las poblaciones por clase socioeconómica (residencial, media y popular) se multiplicó el porcentaje de clase (tabla 27), por la proyección de la población, para el año correspondiente, suponiéndose que estos porcentajes no variarán en el periodo de diseño.

La demanda se obtiene de sumar al consumo de cada clase socioeconómica más las pérdidas físicas, mismas que en 1990 se estimaron como un 30 % de la demanda. Para efectos del ejemplo, se considera que se llevará a cabo un programa de control que tenderá a disminuir las pérdidas físicas en un 0.5% anual.

Tabla 39. Proyección de la demanda de tipo doméstico

Servicio doméstico	Años				
	1990	1995	2000	2005	2010
Población Total	261952	305542	370215	448578	543527
Población Residencial 2.6%	6811	7944	9626	11663	14132
Población media 23.2%	60773	70886	85890	104070	126098
Población popular 74.2%	194368	226712	274670	332845	403297
Pérdidas (%)	30	27.5	25	22.5	20
Demanda de agua doméstica (m³/día)					
Demanda Residencial:	2919	3287	3850	4515	5300
Demanda media	17798	20044	23477	27528	32313
Demanda popular	36097	40652	47609	55832	65536
Demanda doméstica total (m³/día)	56814	63983	74936	87875	103149
Pérdidas (m³/día)	17044	17595	18734	19772	20630

La proyección de la demanda del tipo comercial (tabla 40) se hizo con un aumento del 4% hasta el año 2000 y con un 2% del 2000 al 2010; se estimó un 30% de pérdidas físicas en 1990 y se consideró una reducción de éstas en un 0.5% anual.

Tabla 40. Proyección de la demanda de tipo comercial

Servicio comercial.	Años				
	1990	1995	2000	2005	2010
Consumo de agua (m³/día)	1380	1679	2043	2255	2490
Pérdidas (%)	30	27.5	25	22.5	20
Demanda de agua en (m³/día)	1971	2316	2724	2910	3113
Pérdidas (m³/día)	591	637	681	655	623

La proyección de la demanda industrial se obtuvo de multiplicar los consumos de agua para hoteles e industria (tabla 19 y 20), por el número de cuartos, el número de trabajadores y las unidades de producción respectivamente (tabla 41), las pérdidas físicas son del 30 % en 1990, reduciéndose en 0.5 % anual en los siguientes años hasta llegar a un 20 %. La demanda industrial se incrementó en un 2.5 % al año 2000 y un 1.2 % del 2000 al 2010.

Tabla 41. Proyección de la demanda industrial

Consumo de agua industrial total (m^3/día)	Años				
	1990	1995	2000	2005	2010
Consumo de agua industrial total (m^3/día)	2682	3034	3433	3644	3868
Pérdidas (%)	30	27.5	25	22.5	20
Demanda de agua en (m^3/día)	3831	4185	4577	4702	4835
Perdidas en (m^3/día)	1149	1151	1144	1058	967

La demanda de tipo público se incrementó en un 2% al año 2000 y un 1.5% del 2000 al 2010. Se consideraron un 30% de pérdidas físicas en el año de 1990 y se consideró una reducción de éstas en un 0.5% anual.

Tabla 42. Proyección de la demanda de tipo público

Servicio público	Años				
	1990	1995	2000	2005	2010
Consumo de agua (m^3/día)	429	474	523	563	607
Pérdidas (%)	30	27.5	25	22.5	20
Demanda de agua en (m^3/día)	614	654	697	726	759
Pérdidas en (m^3/día)	184	180	174	163	152

La demanda contra incendio, se obtuvo de multiplicar la población por el volumen per cápita (tabla 22, se consideró el 30% de pérdidas físicas para el año 1990 y una reducción de éstas de 0.5% anual durante los siguientes años. Para la obtención del consumo contra incendio se consideraron 20 incendios por año.

INDICE
Menú

Tabla 43. Proyección de la demanda contra incendio					
Servicio contra incendio	Años				
	1990	1995	2000	2005	2010
Población	261852	305542	370215	448578	543527
Volumen per cápita (l/hab)	4	4	4	4	4
Volumen de agua (m³/día)	1048	1222	1481	1794	2174
Incendios por año	20	20	20	20	20
Consumo contra incendio (m³/día)	58	61	74	90	108
Pérdidas (%)	30	27.5	25	22.5	20
Demanda de agua en (m³/día)	83	84	98	116	135
Pérdidas (m³/día)	25	23	25	26	27

La demanda total se tiene de sumar todos los tipos de demanda (doméstico, comercial, industrial, público y contra incendio) se presentan en la tabla 44.

Tabla 44. Proyección de la demanda total					
	Años				
	199º	1995	2000	2005	2010
Demanda total (m³/día)	63313	71222	83032	96329	111991

d. Dotación

Las dotaciones medias totales de la ciudad en estudio, se obtienen

Para efectos de revisión y diseño de la red de distribución, la dotación corresponde al valor obtenido de dividir la demanda doméstica (tabla 39), más la comercial (tabla 40) más la de servicios, más incendios, entre el número de habitantes, esto se hace para cada cinco años dentro del período de diseño (año 2010).

Tabla 45. Dotación de agua para zonas habitacionales-comercial					
Servicio	Años				
	1990	1995	2000	2005	2010
Población	261852	305542	370215	448578	543527
Demanda doméstica (m³/día)	56814	63983	74936	87875	103149
Demanda comercial (m³/día)	1971	2316	2724	2910	3113
Demanda de servicio público (m³/día)	614	654	697	726	759
Demanda contra incendio (m³/día)	83	84	98	116	135
Suma de las demandas (m³/día)	59482	67037	78455	91627	107156
Dotación de agua (l/hab/día)	227	219	212	204	197

Dado que las zonas industriales se encuentran bien definidas y aisladas de las habitacionales, comerciales y de servicios, las dotaciones industriales se calculan por separado.

La demanda de agua de tipo industrial se obtiene de la tabla 41.

Tabla 45a. Demanda en la zona industrial

Servicio	Años				
	1990	1995	2000	2005	2010
Demanda industrial de servicios y producción (m³/día).	3831	4185	4577	4702	4835
Demanda industrial (l/s).	44	48	53	54	56

Las dotaciones medias totales de la ciudad en estudio se obtienen sumando las dotaciones de la zona habitacional – comercial más las industriales (tabla 46).

Tabla 46. Dotaciones medias totales

Servicio	Años				
	1990	1995	2000	2005	2010
Dotación media total (l/s).	271	267	265	258	253

e. Gastos

La obtención de los gastos medio, máximo diario y horario, y la capacidad de regularización se dan para zonas habitacional – comercial en la tabla 47 y para zona Industrial en al tabla 48.

El gasto medio diario se obtiene con la ecuación 19; el gasto máximo diario y horario se obtienen, con las ecuaciones 20, y 21 respectivamente.

La capacidad de regularización para la ciudad en estudio, se determina con la ecuación 28. El coeficiente de regularización "R" se obtiene de la tabla 8, con un tiempo de bombeo de 24 horas.

La capacidad de regularización total, es la suma de la capacidad de regularización más el volumen contra incendio, éste es un volumen que se debe almacenar para emergencias.

Tabla 47. Gasto medio diario, máximo diario y horario, capacidad de regularización en zonas habitacionales-comerciales					
Concepto	AÑOS				
	1990	1995	2000	2005	2010
Población	261952	305542	370215	448578	543527
Dotación en zonas habitacionales - comerciales (l/hab/día).	227	219	212	204	197
Gasto medio diario (l/s)	688	774	908	1059	1239
Q_{Md} = Gasto máximo diario l/s), cvd = 1.4	963	1084	1271	1483	1735
Q_{Mh} = Gasto máximo horario (l/s), cvh = 1.55.	14931	1680	1970	2299	2689
Capacidad de regularización (m³) C = R Q_{Md}; R = 11.0.	10593	11924	13981	16313	19085
Volumen contra incendio (m³).	1048	1222	1481	1794	2174
Capacidad de regularización total (m³)	11641	13146	15462	18107	21259

Tabla 48. Gasto medio diario, máximo diario y horario, capacidad de regularización en la zona industrial					
Concepto	AÑOS				
	1990	1995	2000	2005	2010
Demanda industrial (l/s).	44	48	53	54	56
Gasto medio diario (l/s)	44	48	53	54	56
Q_{Md} = Gasto máximo diario (l/s), cvd = 1.4	62	67	74	76	78
Q_{Mh} = Gasto máximo horario (l/s), cvh = 1.55.	96	104	115	118	121
Capacidad de regularización (m³) C = R Q_{Md}; R = 11.0.	682	737	814	836	858

f. Aportaciones de aguas residuales

La aportación de aguas negras = 75 % de la dotación (l/hab/día). El gasto medio se calcula con la ecuación 29. El gasto mínimo se obtiene con la ecuación 30. El coeficiente de Harmon para poblaciones acumuladas mayores de 63454 es 2.17. El gasto máximo instantáneo se tiene con la ecuación 32.

El gasto máximo extraordinario se calcula con la ecuación 33; el coeficiente de seguridad se considera de 1.5, ya que el sistema de alcantarillado existente no es del tipo hermético y se prevén aportaciones extraordinarias de origen pluvial.

Tabla 49. Aportación de aguas residuales en zonas habitacionales-comerciales					
Concepto	AÑOS				
	1990	1995	2000	2005	2010
Población	261952	305542	370215	448578	543527
Dotación (l/hab/día).	227	219	212	204	197
Aportación de aguas residuales (l/hab/día).	170	164	159	153	148
Gasto medio de aguas residuales Q_{MED} (l/s)	515	580	681	794	931
Gasto mínimo de aguas residuales Q_{min} l/s	258	290	341	397	466
Coeficiente de Harmon.	2.17	2.17	2.17	2.17	2.17
Gasto máximo instantáneo Q_{Minst} (l/s).	1118	1259	1478	1723	2020
Gasto máximo extraordinario Q_{Mext} (l/s).	1677	1889	2217	2585	3030

En la zona industrial, el coeficiente de variación (M) se calcula utilizando la ecuación 31 y una población equivalente que se obtiene a partir de la demanda media de agua industrial (l/día). La población equivalente para el año de 1990 considerando un consumo de 100 l/hab/día (tabla 20) será: Población equivalente = (3831000 l/día)/(1 00 l/hab/día) = 38310 hab.

Para el cálculo de gasto máximo extraordinario, el coeficiente de seguridad se considera de 1.2, ya que se tiene un sistema independiente de alcantarillado pluvial; el sistema de alcantarillado no es del tipo hermético.

Tabla 49a. Aportación de aguas residuales en zonas industriales					
Concepto	AÑOS				
	1990	1995	2000	2005	2010
Demanda de agua industrial (m^3/día)	3831	4185	4577	4702	4835
Población equivalente	38310	41850	45770	47020	48350
Demanda media de agua (l/s).	44	48	53	54	56
Aportación de aguas residuales (l/s).	33	36	40	41	42
Gasto medio de aguas residuales Q_{MED} (l/s).	33	36	40	41	42
Gasto mínimo de aguas residuales Q_{min} (l/s)	17	18	20	21	21
Coeficiente de Harmon.	2.37	2.33	2.30	2.29	2.28
Gasto máximo instantáneo Q_{Minst} (l/s).	78	84	92	94	96
Gasto máximo extraordinario Q_{Mext} (l/s).	94	101	110	113	115

Nota: En el caso de hacer una revisión o diseño de una zona habitacional, se obtienen los datos exclusivamente con las demandas domésticas.

Tabla 50. Resumen con los datos principales					
Concepto	Años				
	1990	1995	2000	2005	2010
Población Total	261952	305542	370215	448578	543527
Población Residencial 2.6%	6811	7944	9626	11663	14132
Población media 23.2%	60773	70886	85890	104070	126098
Población popular	194368	226712	274670	332845	403297
Pérdidas (%)	30	27.5	25	22.5	20
Demanda de agua y dotación para las zonas habitacionales – comerciales (m^3/día)					
Demanda Residencial	2919	3287	3850	4515	5300
Demanda media	17798	20044	23477	27528	32313
Demanda popular	36097	40652	47609	55832	65536
Demanda doméstica total (m^3/día)	56814	63983	74936	87875	103149
Demanda comercial (m^3/día)	1971	2316	2724	2910	3113
Demanda de servicio público (m^3/día)	614	654	697	726	759
Demanda contra incendio (m^3/día)	83	84	98	116	135
Suma de las demandas (m^3/día)	59482	67037	78455	91627	107156
Dotación de agua (l/hab/día)	227	219	212	204	197
Demanda de agua para la zona industriales (m^3/día)					
Demanda industrial (m^3/día)	3831	4185	4577	4702	4835
Demanda media de agua (l/s)	44	48	63	54	56
Datos para proyectos de agua potable para las zonas habitacionales – comerciales					
Gasto medio diario (l/s)	688	774	908	1059	1239
Q_{Md}=Gasto máximo diario l/s, cvd=1.4	963	1084	1271	1483	1735
Q_{mh}= Gasto máximo horario l/s, cvh =1.55	1493	1680	1970	2299	2689
Capacidad de regularización (m^3)	11641	13146	15462	18107	21259
Datos para proyectos de alcantarillado sanitario en las zonas habitacionales comerciales					
Aportación de aguas residuales (l/hab/día)	170	164	159	153	148
Gasto medio de aguas residuales Q_{MED} l/s	515	580	681	794	931
Gasto mín. de aguas residuales Q_{min} l/s	258	290	341	397	466
Gasto máximo instantáneo Q_{Minst} (l/s)	1118	1259	1478	1723	2020
Gasto máximo extraordinario Q_{Mext} (l/s)	1677	1889	2217	2585	3030
Datos para proyectos de alcantarillado sanitario en la zona industrial					
Población equivalente	38310	41850	45770	41	48350
Aportación de aguas residuales (l/s)	33	36	40	41	42
Gasto medio de aguas residuales (l/s)	33	36	40	41	42
Gasto mínimo de aguas residuales (l/s)	17	18	20	21	21
Gasto máximo instantáneo Q_{Mins} (l/s)	78	84	92	94	96
Gasto máximo extraordinario Q_{Mext} (l/s)	94	101	110	110	115

3.2 Cálculo de coeficientes de regularización.

El cálculo de los coeficientes de regularización, se basa en el método de porcentajes de gastos horarios respecto del gasto medio diario.

El procedimiento de cálculo se presenta a continuación:

1	2	3	4	5
Horas	Entrada % Q. Bombeo	Salida % Q. Salida	Diferencia (Ent-Sal)	Diferencia acumulada

1) En la columna 1 se enlistan el tiempo en horas.

2) En la columna 2 se anota la ley de entrada (está en función del volumen de agua que se deposita en los tanques en la unidad de tiempo considerada, por él o los diferentes conductos de entrada).

   Se pueden considerar diferentes intervalos de bombeo dependiendo del gasto medio de producción de las diferentes fuentes de captación.

3) En la columna 3 se anota la ley de salida en forma similar a la anterior (porcentajes de gastos horarios respecto del gasto medio horario).

4) En la columna 4 se anota la diferencia algebraica entre la entrada y la salida.

5) Finalmente en la columna 5 se anotan las diferencias acumuladas resultantes de la suma algebraica de las diferencias de la columna 4.

De los valores de la columna de diferencias acumuladas, se deduce el máximo porcentaje excedente y el máximo porcentaje faltante, por lo que:

$$C.R = (3.6)\left(\frac{\text{Máx.\%Excedente} - \text{Máx.\%Faltante}}{100}\right) \qquad (42)$$

Donde:

C.R = Coeficiente de regularización

Máx. % Excedente = Es el valor máximo positivo de las diferencias acumuladas

Máx. % Faltante = Es el valor máximo negativo de las diferencias acumuladas.

A continuación se presenta un ejemplo de cálculo del coeficiente de regularización para un intervalo de bombeo de 18 horas (de las 6 a las 23 horas). Los datos que se utilizan en el cálculo corresponden a los de la lámina 6.

Hora	Entrada Q. Bombeo	Salida Q. Demanda	Diferencia (Ent-Sal)	Diferencia acumulada
1		60,6	-60,6	-60,6
2		61,6	-61,6	-122,3
3		63,3	-63,3	-185,6
4		63,7	-63,7	-249,2
5		65,1	-65,1	-314,4 *
6	133,33	82,8	50,5	-263,8
7	133,33	93,8	39,6	-224,2
8	133,33	119,9	13,4	-210,8
9	133,33	130,7	2,6	-208,2
10	133,33	137,2	-3,6	-211,8
11	133,33	134,3	-1,0	-212,8
12	133,33	132,9	0,4	-212,4
13	133,33	128,8	4,6	-207,8
14	133,33	126,6	6,7	-201,1
15	133,33	121,6	11,7	-189,4
16	133,33	120,1	13,2	-176,2
17	133,33	119,6	13,7	-162,5
18	133,33	115,1	18,3	-144,2
19	133,33	112,1	21,2	-123,0
20	133,33	105,6	27,7	-95,3
21	133,33	90,1	43,2	-52,1
22	133,33	78,4	54,9	2,8
23	133,33	71,0	62,3	65,1 ¡
24		65,1	-65,1	0,0

Notas: ¡ Máx. % Excedente = 65.1

* Máx. % Faltante = -314.4

Aplicando la ecuación 42, se obtiene: R = 13.66

1. PROGRAMA PARA OBTENER LOS DATOS BASICOS DEL PROYECTO.

1.1 Objetivos

El programa BASICOS.EXE esta diseñado para facilitar el cálculo de población de proyecto y gastos de diseño. Tanto de agua potable como de alcantarillado sanitario.

1.2 Datos de entrada

Los datos de entrada serán, para el caso de población de proyecto, los de los censos de población de la ciudad o región de que se trate (año y número de habitantes).

1.3 Datos de salida

En el caso de población de proyecto, además de darse las poblaciones proyectadas por cada uno de los métodos utilizados en el programa, se dá la representación gráfica de todos los resultados de los métodos de predicción de población, en un solo sistema cartesiano con el objetivo de que el proyectista evalué cual es el más adecuado para la ciudad o región de que se trate.

En el caso de los gastos de diseño se dan los resultados de gasto medio, gasto máximo diario, gasto máximo horario y gasto mínimo de agua potable y los gastos medio, mínimo, máximo instantáneo, máximo extraordinario de alcantarillado sanitario.

1.4 Alcances y ventajas

La ventaja de usar el programa para el cálculo de la población de proyecto, aparte de la rapidez con que se obtienen los resultados por cada uno de los métodos de predicción, es que se podrán analizar gráficamente y con mayor facilidad, las proyecciones por cada uno de los métodos enunciados. Esto se redundará en un diseño más rápido y adecuado de los sistemas a proyectar.

1.5 Instrucciones de uso

Para llamar al programa muestra coloque el diskette en el drive "A" y teclee BASICOS. ó puede crear un directorio en el disco duro de la computadora y copiar todos las archivos del disco, para que el programa corra más rápido.

Después de que aparece la pantalla de presentación, para continuar teclee ENTER.

Enseguida aparecerá el menú de opciones:

1. Población de proyecto
2. Gastos
3. Salida al dos

OPCION 1 (Población de proyecto) DEL MENU presenta lo siguiente:

a. Entrada de datos

Se pregunta el nombre del registro (máximo ocho caracteres), que quedará grabado en el diskette "C".

En esta opción se debe introducir la información de la población histórica así como el año.

b. Traer archivos de datos.

Se tiene la opción de manejar archivos con información que se haya tecleado anteriormente.

c. Datos de crecimiento por comparación.

En esta opción 1 se debe introducir la información de la población histórica de las ciudades que se van a comparar, el programa crea un archivo para cada una de las ciudades.

d. Método de crecimiento por comparación.

En esta opción el programa hace la proyección de la población utilizando los datos de las ciudades que se introdujeron en el punto anterior (punto c).

e. Min. cuadrados lineal.

Se hace la proyección de la población mediante un ajuste lineal por el método de mínimos cuadrados.

f. Min. cuadrados exponencial.

Se hace la proyección de la población mediante un ajuste exponencial por el método de mínimos cuadrados.

g. Min. cuadrados Logarítmico.

Se hace la proyección de la población mediante un ajuste logarítmico por el método de mínimos cuadrados.

h. Min. cuadrados potencial

Se hace la proyección de la población mediante un ajuste potencial por el método de mínimos cuadrados.

OPCION 2 (Gastos) DEL MENU:

a. Agua potable.

En esta opción se calcula los gastos para agua potable (gasto medio, gasto máximo diario, Gasto máximo horario).

b. Alcantarillado.

Se calculan los gastos para diseño de alcantarillado (gasto medio, gasto mínimo, gasto máximo instantáneo, gasto máximo extraordinario).

OPCION 3 (Salida al DOS) DEL MENU:

Salida del programa.

REFERENCIAS

1. Agresty A., Finlay B., Statical Methods for Social Sciences, Deller Publishing Company, San Francisco 1986, Divisions of Macmillan Inc.

2. Hidalgo L. M., Ochoa A. L., Concepción actual de la demanda de agua potable, XXIII Congreso de la Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Cuba 1992.

3. Ochoa A. L., Rodríguez V. M. y Delgado B. A., Análisis de la información del estudio de actualización de dotaciones en el país, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Coordinación de Tecnología Hidráulica Urbano Industrial, Jiutepec, Mor., 1993.

4. Dangerfield B.J., Water Supply and Sanitation in Developing Countries, The Institution of Water Engineers and Scientist, London, England 1983.

5. Kindler J., Rusell C. S., Modeling Water Demands, Academic Press (Harcourt Brace Jovannovich, Publishers), 1984.

6. Enríquez, Z. S., Vázquez L. A. y Ochoa A. L., Control de fugas en sistemas de distribución, Manual de diseño de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, Comisión Nacional del Agua, 1993.

7. Comisión Nacional del plano hidráulico (SARH), Plan Nacional Hidráulico 1981, anexo 3 usos de agua.

8. Velitchko G. T., García M. C., Pérdidas locales y distribuidas en acueductos y evaluación de medidores de caudal, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Coordinación de Tecnología Hidráulica Urbano Industrial, Jiutepec, Mor., 1991.

9. Karnand F.Z., Hidraulic Friction Factors for Pipe flow, Journal of Irrigation and Drainage Engineering, Vol. 114, No2, May 1988, ASCE, ISSN.

10. Sotelo A. G., Hidráulica general (Vol. 1), LIMUSA Primera Edición (1974).

11. SGIHUI, CNA, Especificaciones de diseño y construcción para sistemas de alcantarillado, utilizando tubería conjunta hermética, Gerencia de Normas Técnicas, México D.F.

12. Ochoa A. L., Rangel M. J., Navarro B. S. y Maldonado S. J., Aportaciones en alcantarillado, Informe final (1ª etapa) del proyecto UI-9302, IMTA, dic. 1993, Jiutepec, Mor.

13. DDF Reglamento de construcciones para el Distrito Federal, quinta época No. 9, México, D. F., 6 de julio, de 1987.

14. Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas, Manual de normas de proyecto para obras de aprovisionamiento de agua potable en localidades urbanas, SAHOP, 1979.

15. Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas, Normas de proyecto para obras de alcantarillado sanitario en localidades urbanas de la República Mexicana, SAHOP.

16. Guerrero A. 0., Ecuación modificada de Colebrook-White, informe parcial de proyecto doctoral, mayo de 1994.

GLOSARIO

Alcantarillado: conjunto de tuberías que conducen las aguas residuales hasta el sitio de disposición final de las mismas.

Aportación: volumen de agua residual desechada por el usuario después de su uso.

Atarjea: tubería por la cual son transportadas las aguas residuales provenientes de los albañales y conducciones hacia los subcolectores y/o colectores.

Coeficiente de fricción: parámetro de diseño hidráulico que permite determinar las pérdidas de energía en un acueducto.

Consumo de agua: volumen de agua utilizado para cubrir las necesidades de los usuarios. Hay diferentes tipos de consumos: doméstico, no-doméstico (dividido en comercial e industrial) y público.

Demanda: volumen total de agua requerido por una población para satisfacer todos los tipos de consumo, incluyendo las pérdidas en el sistema.

Descarga domiciliaria: conjunto de elementos que sirven para conectar el sistema interno de desagüe de una vivienda con el sistema de atarjeas.

Distrito hidrométrico: sección de la red de agua potable en la que se controlan las entradas y salidas, para realizar mediciones de consumo y hacer el balance de volúmenes de agua.

Dotación: cantidad de agua asignada a cada habitante para satisfacer sus necesidades personales en un día medio anual. (Es el cociente de la demanda entre la población de proyecto). Consumo diario promedio per cápita.

Estación de bombeo: sitio en donde se instalan equipos mecánicos para elevar el agua de un lugar bajo a otro elevado.

Fuente de abastecimiento: sitio del cual se toma el agua para suministro al sistema de distribución.

Gasto: volumen de agua medido en una unidad de tiempo, generalmente se expresa en litros por segundo.

Línea de conducción: elemento que sirve para transportar el agua de un lugar a otro de manera continua (generalmente tubos) y puede trabajar a presión en el caso de tuberías o a superficie libre, en caso de canales y tuberías.

Pérdida física: volumen de agua que entra al sistema de distribución de agua, que no es consumido.

Período de diseño: lapso para el cual se diseña el sistema. Es el período en que se estima que la obra o elemento del proyecto alcanza su máxima eficiencia.

Planta de potabilización: sitio en el cual se eliminan del agua los elementos nocivos para la salud humana.

Población de proyecto: número de habitantes de una, localidad al final del período de diseño.

Red de distribución: sistema de tuberías que conduce el agua potable a lo largo de las calles de una localidad para consumo de los usuarios.

Toma domiciliaria: conjunto de elementos conectados a la red de distribución que sirven para entregar el agua a los usuarios dentro del predio.

Vida útil: es el lapso en el cual se estima que la obra o elemento del proyecto funciona adecuadamente.